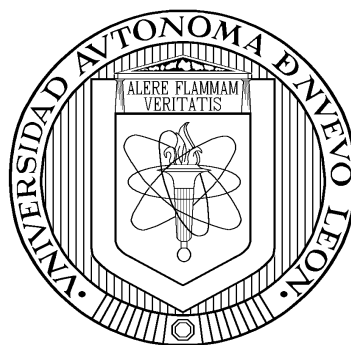


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE PSICOLOGÍA



**"Ritmos Circadianos en los Componentes de las Funciones
Ejecutivas"**

TESIS

que para obtener el grado de
Doctor en Filosofía con Especialidad en Psicología

Presenta:

MINERVA AÍDA GARCÍA GARCÍA

Monterrey, N.L., septiembre de 2010

Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Psicología
División de Estudios de Posgrado

Los miembros del Comité de Tesis recomendamos que la tesis “Ritmos circadianos en los componentes de las funciones ejecutivas” realizada por la Mtra. Minerva Aída García García, sea aceptada como opción al grado de Doctor en Filosofía con Especialidad en Psicología.

El Comité de Tesis:

Dr. Pablo Valdez Ramírez
Director de Tesis

Dr. Ernesto Octavio López Ramírez
Revisor

Dr. Víctor Manuel Padilla Montemayor
Revisor

Dra. Xóchitl Angélica Ortiz Jiménez
Revisora

Dr. Luiz Menna-Barreto
Revisor Externo

Vo. Bo.
M.C. Arnoldo Téllez López
Sub-Director de Postgrado

Monterrey, N.L., septiembre de 2010

Dedicatoria

A mi preciado tesoro:

Heber y Kiara

Agradecimientos

- A los participantes de este estudio, por su valiosa disposición para asistir al laboratorio y contestar las tareas, sin los cuales este estudio no podría existir.
- A mi asesor: Dr. Pablo Valdez Ramírez, que con su pasión por la ciencia y su curiosidad ha motivado mi creciente amor por la búsqueda del conocimiento.
- A la Dra. Ma. Candelaria Ramírez Tule quien ha acompañado mi travesía brindándome sus inagotables ánimos.
- A los integrantes del Laboratorio de Psicofisiología, quienes estuvieron en cada paso del desarrollo de este estudio, colaborando con gran entusiasmo.
- A los revisores que con sus invaluable observaciones hicieron crecer esta tesis: Dr. Luiz Menna-Barreto, Dra. Xóchitl Ortiz, Dr. Víctor Padilla y Dr. Ernesto López.
- Al Grupo Latinoamericano de Cronobiología.
- Al Grupo de Cronobiología de Monterrey.
- A mis compañeras de generación, por discutir este trabajo desde que era una idea.
- A mi familia, que con su apoyo incondicional han sido el aliciente para seguir adelante en cada paso de mi formación profesional.

Índice

Resumen	7
Abstract	8
Capítulo 1: Introducción	9
Objetivo	19
Objetivos particulares	19
Hipótesis	19
Capítulo 2: Marco teórico	21
Ritmos biológicos	21
Procesos cognoscitivos básicos	29
Las funciones ejecutivas	34
Ritmos circadianos en las funciones ejecutivas	44
Capítulo 3. Método	56
Diseño de la investigación	56
Participantes	57
Instrumentos	58
Cuestionarios	58
Área de registro	60
Tareas	62
Material	71
Procedimiento	72
Primera etapa: selección de participantes.	72
Segunda etapa: registro de ciclo sueño-vigilia.	73

<i>Tercera etapa: registro en el laboratorio.</i>	74
Análisis de datos	80
Capítulo 4: Resultados	84
Autoevaluación de la fase circadiana y ciclo de vigilia-sueño.	84
Temperatura rectal y reportes subjetivos de somnolencia y cansancio	85
Componentes de las funciones ejecutivas	88
<i>Variaciones circadianas en la inhibición</i>	88
<i>Variaciones circadianas en la flexibilidad</i>	92
<i>Variaciones circadianas en la previsión</i>	96
<i>Variaciones circadianas en el auto-monitoreo</i>	99
Capítulo 5: Discusión	105
Capítulo 6. Conclusiones	121
Bibliografía	123
Apéndices	141
Apéndice A. Cuestionario de datos generales	142
Apéndice B. Cuestionario de antecedentes de riesgo de daño cerebral	144
Apéndice C. Autoevaluación de la Fase Circadiana	147
Apéndice D. Cuestionario de Trastornos del Dormir ...	152
Apéndice E. Diario del dormir	153
Apéndice F. Reporte de Ingestión de alimentos	154

Apéndice G. Escalas visuales analógicas para el	
registro de somnolencia y cansancio	155

Resumen

Ritmos Circadianos en los Componentes de las Funciones Ejecutivas

Se han observado ritmos circadianos en la ejecución de las personas de muchas tareas. La ejecución de las tareas depende de procesos cognoscitivos básicos como las funciones ejecutivas que son la capacidad para programar, coordinar y supervisar el comportamiento. Están conformadas por diferentes componentes, entre los que se encuentran la inhibición, la flexibilidad, la previsión y el auto-monitoreo. El objetivo de esta tesis fue identificar ritmos circadianos en estos componentes de las funciones ejecutivas. Para esto, se evaluaron a 13 estudiantes universitarios en un protocolo de rutina constante por 29 h, a partir de las 10:20h. La temperatura rectal fue registrada cada minuto, y contestaron cada 100 min una tarea tipo Stroop con criterio cambiante, una tarea de mapas, y una tarea de seguimiento. La eficiencia para nombrar colores en la tarea tipo Stroop se consideró como indicador de la inhibición. Mientras que la eficiencia para cambiar los criterios de respuesta se consideró como indicador de flexibilidad. La eficiencia para responder la tarea de mapas fue considerada como indicador de la previsión. La capacidad de los participantes para ajustarse a los cambios de la tarea de seguimiento fue considerada como un indicador del auto-monitoreo. Se encontraron ritmos circadianos en la inhibición, la flexibilidad y el auto-monitoreo. No se pudieron identificar ritmos circadianos en la previsión. La inhibición presentó su nivel más bajo al mismo tiempo que el nivel más bajo en la temperatura, mientras que la flexibilidad y el auto-monitoreo presentaron su nivel más bajo de eficiencia de 2 a 4 horas después del punto más bajo en la temperatura. En conclusión, durante la madrugada disminuye primero la capacidad para inhibir, después la flexibilidad, y por último, el auto-monitoreo. Esta disminución en las funciones ejecutivas, puede llevar a los trabajadores a cometer errores y, por consecuencia, tener accidentes graves en su medio laboral en la madrugada y temprano en la mañana.

Palabras Clave: Ritmos circadianos, Ejecución, Procesos cognoscitivos, Funciones ejecutivas, Neuropsicología.

Abstract

Circadian rhythms in the components of executive functions

Circadian rhythms have been observed in the performance of many tasks. Performance depends on basic cognitive processes, such as executive functions, that are the capacity to program, coordinate and supervise the behavior. These functions have several components, some of these components are: inhibition, flexibility, prevision and self-monitoring. The objective of this thesis was to identify circadian rhythms in these components of executive functions. Thirteen college students were recorded in a constant routine protocol for 29 hours, starting at 10:20h. Rectal temperature was measured every minute, and their performance on a modified Stroop task, a map task and a tracking task was assessed every 100 min. In the Stroop task, the efficiency to name colors was taken as an index of inhibition, and the efficiency to shift criteria was taken as an index of flexibility. The efficiency to solve the map task was taken as an index of prevision. On the other hand, the participants' capacity to efficiently adjust their responses to the changes of the tracking task was taken as an index of self-monitoring. There were circadian rhythms in inhibition, flexibility and self-monitoring. It was not possible to identify circadian rhythms in prevision. Inhibition showed the lowest level at the same time that the batiphase of rectal temperature, while flexibility and self-monitoring showed their lowest level 2 to 4 h after the batiphase of rectal temperature. In conclusion, during night and early morning the capacity to inhibit diminishes, after that, the flexibility decreases and, finally, the self-monitoring capacity decreases. This decrement in executive functions could produce errors in the performance of night and shift workers and, consequently, produce severe accidents at workplace during night and early morning.

Key words: Circadian rhythms, Performance, Cognitive processes, Executive functions, Neuropsychology.

Capítulo 1: Introducción

Los seres humanos, como el resto de los organismos vivos, presentan oscilaciones en su fisiología acopladas con los cambios cíclicos ambientales, estas oscilaciones se conocen como ritmos biológicos. El descubrimiento de la existencia de ritmos biológicos ha ido cambiando la forma que se estudian muchos procesos biológicos y fisiológicos en los últimos 50 años (Luce, 1971). Sin embargo, la incorporación de estas variaciones en el estudio del comportamiento humano es mucho más reciente y en menor medida (Valdez, 1988).

En estos estudios se ha planteado que las oscilaciones en la fisiología pueden ser generadas por los cambios en el ambiente, de tal forma que cuando las condiciones ambientales cambian, el organismo presenta oscilaciones similares. Por ejemplo, cuando la temperatura ambiental cambia, la temperatura del organismo también cambia de forma reactiva. Sin embargo, existen oscilaciones en la fisiología que persisten aún y cuando el organismo no tiene contacto con el medio ambiente externo, es decir, cuando se encuentra aislado de las variaciones ambientales, lo cual sugiere que el

propio organismo genera dichas oscilaciones, por lo que se consideran endógenas. El ciclo biológico endógeno que más se ha estudiado es el ritmo circadiano, que tiene un período de alrededor de 24 horas (con un rango de 20 a 28h) (Moore-Ede, Sulzman & Fuller, 1982; Valdez, 2009). En el ser humano se han observado variaciones circadianas en casi todas las funciones, esto incluye variables como la temperatura corporal, la secreción de casi todas las hormonas, la actividad metabólica, cardíaca, pulmonar, así como diversos parámetros de la actividad del sistema nervioso (Fuster & Kreitzman, 2004; Palmer, 2002).

El hecho de que se presenten ritmos circadianos en la actividad del sistema nervioso, en especial del cerebro (Aeschbach, Matthews, Postolache, Jackson, Giesen & Wehr, 1999), sugiere la posibilidad de que algunos procesos cognoscitivos presenten variaciones circadianas. En una gran cantidad de estudios se han encontrado diferencias a lo largo del día en la capacidad de las personas para responder tareas cognoscitivas, desde tareas de vigilancia y de memoria, hasta operaciones aritméticas, razonamiento verbal y lógico (D'Reaux, Newmann & Rhymer, 2000; Graw, Kräychi, Knoblauch, Wirz-Justice & Cajochen, 2004; Kraemer, Danker-Hopfe, Dorn, Schmidt, Ehlert &

Herrmann, 2000; Blake, 1967; Baddeley, Hatter, Scott & Snashall, 1970; Folkard & Monk, 1980; Monk & Carrier, 1997). En la mayor parte de estos estudios la ejecución mejora durante el día, alcanza el nivel más alto entre las 20:00 - 22:00 h, y disminuye hasta alcanzar el nivel más bajo en la madrugada entre las 04:00 - 06:00 h (Carrier & Monk, 2000; Valdez, 1988). Se ha reportado una mayor incidencia de errores y una menor eficiencia en los trabajadores en la madrugada. Los errores y baja eficiencia del trabajador pueden vincularse a la mayor incidencia de accidentes en estos turnos, accidentes que tienden a ser más graves en comparación con los que suceden en los turnos diurnos (Folkard & Tucker, 2003).

Para entender porqué se presentan variaciones a lo largo del día en la ejecución, es importante tomar en cuenta que el rendimiento de las personas en todas las tareas mencionadas depende de tres procesos cognoscitivos fundamentales: la atención, la memoria de trabajo y las funciones ejecutivas (Cajochen, Blatter & Wallach, 2004; Carrier & Monk, 2000; Schmidt, Collette, Cajochen & Peigneux, 2007). Así, es importante analizar si existen ritmos circadianos en estos procesos básicos, con el fin de determinar cuál o cuáles de estos procesos son los que

están cambiando a lo largo del día y son el motivo por el cual se presentan variaciones circadianas en la ejecución de las diferentes tareas registradas. En trabajos previos ya se han analizado ritmos circadianos en la atención y la memoria de trabajo (Valdez Ramírez, García, Talamantes, Armijo & Borrani, 2005; Ramírez, García, Talamantes & Valdez, 2009). Por tal motivo, el principal interés de esta tesis es analizar la presencia de variaciones circadianas en las funciones ejecutivas.

Las funciones ejecutivas son la capacidad para programar, coordinar y supervisar el comportamiento; de ellas depende la toma de decisiones, la resolución de problemas y el autocontrol (Stuss & Alexander, 2000; Luria, 1986). Estas funciones ejecutivas son responsables de que la persona sea capaz de analizar la situación, diseñar una estrategia de respuesta, actuar de acuerdo a esta estrategia, y monitorear los resultados de sus propias acciones. Para poder lograr esto, la persona tiene que inhibir las respuestas inadecuadas, ser capaz de cambiar de estrategia de acuerdo a la situación, así como de identificar las fallas y corregir el comportamiento cuando es inadecuado. Estas funciones se han relacionado con la activación de la corteza

prefrontal (Godefroy, 2003). Las personas que presentan una lesión en la corteza prefrontal tienen dificultades para controlar su comportamiento, por lo que presentan errores para resolver problemas y toman decisiones inadecuadas, lo que se refleja en una disminución en la ejecución de muchas de las tareas (Valdez, Nava, Tirado, Frías & Corral, 2005). Las funciones ejecutivas son cruciales en una situación crítica ya que si fallaran se pueden presentar errores en la toma de decisiones o en las estrategias que se requieren para solucionar problemas, por tal motivo, las consecuencias pueden llegar a ser fatales, como los accidentes automovilísticos, accidentes laborales graves o accidentes industriales, como los derrames petroleros o incendios.

Es importante mencionar que las funciones ejecutivas no son unitarias, sino que incluyen componentes tales como: la inhibición, la flexibilidad, la previsión y el auto-monitoreo (Stuss & Alexander, 2000; Valdez et al., 2005). La inhibición, se refiere a bloquear comportamientos hacia metas secundarias o irrelevantes. La flexibilidad, se refiere a la capacidad de modificar la estrategia de respuesta de acuerdo a las necesidades

cambiantes del ambiente. La previsión, se refiere a la capacidad para organizar y programar el comportamiento con el fin de lograr una meta. El auto-monitoreo, implica que la persona observe la actividad que está llevando a cabo, tanto su acción como el resultado de su acción, lo cual le permite que verifique y corrija su comportamiento (Valdez *et al.*, 2005; Ramírez *et al.*, 2009). Para poder estudiar los ritmos circadianos en las funciones ejecutivas es muy importante tomar en cuenta que son procesos neuropsicológicos, esto es, dependen del funcionamiento del cerebro, específicamente del área prefrontal de la corteza (Luria, 1986; Valdez, 2009). Además, es indispensable analizar los componentes de las funciones ejecutivas.

Hasta la fecha, se han estudiado variaciones circadianas en las funciones ejecutivas, a través de la eficiencia para resolver tareas que registran el nivel global de este proceso cognoscitivo básico (Johnson, Duffy, Dijk, Ronda, Dyal & Czeisler, 1992; Schmidt *et al.*, 2007). Sin embargo, las funciones ejecutivas no son unitarias, como se mencionó anteriormente, ya que presentan varios componentes que se relacionan con el funcionamiento de diferentes áreas cerebrales.

Por tal motivo, para analizar si existen ritmos circadianos en los componentes de las funciones ejecutivas, es importante identificar y estudiar situaciones donde se pueda analizar cada uno de estos componentes de manera individual, y que sean ecológicamente válidas, es decir, que representen el comportamiento de la persona en su vida cotidiana (Alexander & Stuss, 2006; Zalla, Plassiart, Pillon, Grafman & Sirigu, 2001). Para esto, es necesario utilizar indicadores basados en el desempeño de tareas o situaciones específicas, que se relacionen con la activación de la corteza prefrontal. De esta forma, se puede utilizar la tarea de Stroop y la tarea de respuesta no-respuesta para analizar el componente de inhibición (McLeod & McDonald, 2000; Van Boxtel, Van der Molen, Jennings & Brunia, 2001; West & Bell, 1997; Demakis, 2004; Stuss, Floden, Alexander, Devine & Katz, 2001). Para analizar el componente de flexibilidad, se pueden utilizar tareas de criterio cambiante como el Stroop modificado (Dunbar & Sussman, 1995). Se pueden utilizar las tareas de mapas y laberintos para analizar el componente de previsión (Basso, Lotze, Vitali, Ferreri, Bisiacchi, Belardinelli et al., 2006; Kirsch, Lis,

Esslinger, Gruppe, Danos, Broll et al., 2006). Y, para analizar el componente de auto-monitoreo, se pueden utilizar tareas de seguimiento (Krigolson & Holroyd, 2006).

No se han observado resultados claros en los estudios que analizan variaciones circadianas en los componentes de las funciones ejecutivas. En el componente de inhibición, estudiado mediante un protocolo de hora del día, se encontró una disminución en la eficiencia de la tarea Stroop durante la tarde (Hartley & Shirley, 1976); resultados similares se observaron en la tarea de respuesta-no respuesta que también evalúa el indicador de inhibición (Manly, Lewis, Robertson, Watson & Datta, 2002). Sin embargo, otro estudio que utilizó un protocolo de desincronización forzada no encontró variaciones circadianas en la ejecución de una tarea de respuesta-no respuesta (Harrison, Jones & Waterhouse, 2007). Por otra parte, no se han encontrado variaciones circadianas claras en la ejecución de una tarea de laberintos, considerada como indicador de la previsión, en un protocolo de rutina constante (Blatter, Opwis, Münch, Wirz-Justice & Cajochen, 2005). En estudios que evalúan tareas que miden flexibilidad (Bratzke, Rolke, Steinborn

& Ulrich, 2009) y auto-monitoreo (Goh, Tong & Lee, 2001; Mullaney, Kripke, Fleck & Johnson, 1983; van Eekelen & Kerkhof, 2003) se ha encontrado una disminución en la eficiencia en la madrugada y temprano en la mañana; en estos estudios se toma sólo el resultado general de las tareas. Debido a la falta de claridad en los resultados de los trabajos previos, es necesario analizar indicadores específicos de cada uno de los componentes de las funciones ejecutivas para poder identificar si presentan ritmos circadianos.

Por otro lado, los ritmos circadianos en la fisiología y la ejecución se han estudiado por medio de tres métodos: protocolo de hora del día, rutina constante y desincronización forzada (Carrier & Monk, 2000). Actualmente, los métodos de rutina constante y desincronización forzada se consideran cruciales para demostrar variaciones circadianas, ya que permiten un control de las variables que pueden afectar los ritmos circadianos (Hanneman, 2001), así mismo, brindan información que permite observar los cambios a lo largo del día.

La mayoría de los estudios que analizan la presencia de variaciones circadianas en las funciones ejecutivas

utilizan un protocolo de hora del día (Hartley & Shirley, 1976; Johnson *et al.*, 1992; Mackenberg, Broverman, Vogel & Claiber, 1974; Manly *et al.*, 2002; May & Hatcher, 1998; May, 1999; Schmidt *et al.*, 2007; Mullaney, *et al.*, 1983; Goh *et al.*, 2001). Sólo un trabajo analizó una tarea de respuesta - no respuesta bajo un protocolo de desincronización forzada (Harrison *et al.*, 2007), y otros analizaron el cambio entre tareas (Bratzke *et al.*, 2009), una tarea de laberintos (Blatter *et al.*, 2005) y una tarea de seguimiento (van Eekelen & Kerkhof, 2003) con un protocolo de rutina constante.

Por tal motivo, el propósito de esta tesis fue identificar si existen ritmos circadianos en los componentes de las funciones ejecutivas, tanto en la planeación, la inhibición y la flexibilidad como en el auto-monitoreo del comportamiento mediante un protocolo de rutina constante.

Objetivo

Identificar la presencia de ritmos circadianos en los componentes de las funciones ejecutivas.

Objetivos particulares

- Identificar la presencia ritmos circadianos en la capacidad de inhibir el comportamiento de los humanos.
- Identificar la presencia ritmos circadianos en la flexibilidad para cambiar de una respuesta a otra por los humanos.
- Identificar la presencia de ritmos circadianos en la capacidad de previsión en los humanos.
- Identificar la presencia ritmos circadianos en el auto-monitoreo del comportamiento en los humanos.

Hipótesis

- Debido a que se presentan variaciones circadianas en los procesos cognoscitivos básicos de atención y memoria de trabajo, entonces se espera que todos los

componentes de las funciones ejecutivas presenten ritmos circadianos.

- Debido a que se ha propuesto que las variaciones circadianas en la ejecución dependen del ritmo circadiano del metabolismo corporal, se espera que la fase de los ritmos circadianos de todos los componentes de las funciones ejecutivas se presente al mismo momento del día que la fase del ritmo circadiano de la temperatura rectal.

Capítulo 2: Marco teórico

Ritmos biológicos

Desde el inicio de la vida en la tierra, los seres vivos se desarrollaron en un medio cíclico, esto implica que los seres vivos se han expuesto constantemente a cambios periódicos en la iluminación y la temperatura ambiental que ocurren por los movimientos de rotación y traslación de nuestro planeta. Los mecanismos de adaptación que permiten a los organismos sobrevivir en ambientes muy diversos y en ocasiones desfavorables, también permitieron que las distintas especies se acoplaran a un medio cíclico. Las primeras observaciones sobre las variaciones en el funcionamiento de los organismos fueron explicadas como una adaptación reactiva a los cambios ambientales, es decir, que los organismos modifican su funcionamiento en respuesta directa a estos cambios en el ambiente. Sin embargo, tiempo después se propuso que, además de este tipo de adaptación, los organismos desarrollaron un mecanismo de medición del tiempo, esto es, generaron un reloj interno (Moore-Ede et al., 1982). Este reloj interno les permitiría sincronizar

sus actividades a las condiciones ambientales, no solamente responder a ellas, sino responder simultáneamente con los cambios ambientales o incluso antes de que ocurran estos cambios. Los organismos que logran dar respuestas anticipadas al medio tienen mayores probabilidades de sobrevivir en un ambiente cíclico. Las variaciones que presentan los organismos en el funcionamiento acopladas a los cambios cíclicos del ambiente se conocen como ritmos biológicos.

La demostración inicial de que existen ritmos biológicos de tipo circadiano, que se generan en el propio organismo (endógenos), proviene de DeMairan, quien observó que una planta que se mueve cíclicamente en condiciones ambientales naturales, lo sigue haciendo cuando se le aísla y permanece en condiciones constantes (oscuridad y temperatura constantes) (DeMairan, 1729). Demostraciones como ésta se han hecho en casi todos los seres vivos, desde las células eucariotes hasta el ser humano. Además, se ha demostrado que los ritmos circadianos están presentes en casi todas las funciones biológicas o fisiológicas de los organismos, tanto en organismos aislados como en grupos de individuos, en órganos y tejidos in vitro, etc. (Palmer, 1976).

Para entender la forma en que los ritmos circadianos modulan la fisiología de los seres vivos es necesario considerar cinco características básicas de estos ciclos (Valdez, Ramírez & Téllez, 1998; Ramírez, García & Valdez, 2009). Estas propiedades fundamentales de los ritmos circadianos son:

1. Los ritmos circadianos son endógenos. Esto implica que los ritmos siguen presentándose cuando las condiciones ambientales se mantienen constantes. En estas condiciones se observa un ritmo de libre curso, con un periodo cercano pero diferente de 24 h, por lo que se desfasa continuamente del ciclo solar. En el ser humano este ritmo de libre curso tiende a adoptar un período mayor de 24 h (Czeisler, Duffy, Shanahan, Brown, Mitchell, Rimmer, et al., 1999).
2. Los ritmos circadianos son estables. Aunque el ciclo es diferente para todos los individuos, en una persona específica las fluctuaciones se mantienen estables (Aschoff, 1976). Es decir, para la persona cuyo aumento en la temperatura corporal ocurre durante la tarde, entre las 15:00 y las 17:00 h, todos los días ocurrirá este aumento aproximadamente en ese mismo horario. En el ser humano se han encontrado dos tipos

de personas de acuerdo con la fase de sus ritmos circadianos: los madrugadores y los traspasadores, los primeros tienden a despertar y dormir más temprano y estar más activos durante la mañana, mientras los segundos tienden a despertar y dormir más tarde y están más activos hacia la noche (Horne & Östberg, 1976). Horne y Östberg clasificaron a la población de acuerdo a su distribución normal en los siguientes tipos: 5% de la población puede ser clasificada como madrugador extremo, y otro 5% como traspasador extremo; el 20% se considera como madrugador moderado y otro 20% como traspasador moderado, mientras que el resto de la población (50%) es considerado como intermedio. Al comparar los madrugadores extremos con los traspasadores extremos, se han encontrado diferencias en la fase de ritmos circadianos de temperatura (Baehr, Revelle & Eastman, 2000; Horne & Östberg, 1976; Kerkoff & Van Dongen, 1996), el dormir (Webb & Bonnet, 1978), y la secreción matutina de cortisol (Kudielka, Federenko, Hellhammer & Wüst, 2006).

3. Se mantiene una relación de fase entre las funciones.
Los ritmos circadianos de las diferentes funciones del

organismo se mantienen con una relación de fase entre ellos (Palmer, 1976). Esto quiere decir que aunque el ciclo en la temperatura corporal es independiente del ciclo en la secreción de cortisol y de noradrenalina, los aumentos y disminuciones en estas funciones tienden a ocurrir en una secuencia y con un intervalo fijo entre ellas. Esta característica se conoce como "organización temporal interna" (Moore-Ede et al., 1982).

4. La fase se modula por agentes sincronizantes. Los agentes sincronizantes son las condiciones ambientales cíclicas que pueden ajustar la fase del reloj circadiano (Minors & Waterhouse, 1986). En el ser humano los principales agentes sincronizantes son: el ciclo de iluminación (día/noche, luz/oscuridad) (Monk & Welsh, 2003), el ciclo de alimentación (Stephan, 2002), el ejercicio y la estimulación social (Aschoff, 1976). Sin embargo, la modulación del periodo de los ritmos circadianos ocurre dentro de un margen, ya que no se pueden ajustar a ciclos con periodos menores a 20 ni mayores a 28 horas (Pittendrigh, 1981).
5. Los cambios de horario desincronizan los ritmos en las diferentes funciones del organismo. Cuando una persona

atraviesa los husos horarios en un viaje aéreo transmeridional (por ejemplo al viajar a Europa), cada función tiene su propio período de adaptación al nuevo horario; el ciclo de vigilia-sueño se ajusta en unos cuantos días, el ciclo en la temperatura corporal tarda una semana y la secreción de nuestras hormonas tarda varias semanas en acoplarse al nuevo horario (Arendt & Marks, 1982). Durante ese período tales funciones se encuentran desincronizadas. Otros cambios de horario que pueden producir un desajuste en la sincronización son: el trabajo nocturno o en turnos rotatorios, el horario de verano, las vacaciones y los fines de semana (Valdez, Ramírez & García, 1996; Valdez, Ramírez & García, 2002; Akerstedt, 1984; Valdez, Ramírez & García, 2003).

En el ser humano se han documentado ritmos circadianos en muchos aspectos fisiológicos, en la temperatura corporal, la secreción de hormonas como el cortisol y la melatonina, el funcionamiento de órganos como el corazón, el riñón, y el cerebro (Moore-Ede et al., 1982). Se han observado ritmos circadianos en la actividad eléctrica cortical durante el dormir (Wyatt et

al., 1999), así como durante el ciclo de vigilia - sueño (Cajochen & Dijk, 2003). Además, se han observado ritmos circadianos en los receptores de neurotransmisores en diferentes regiones cerebrales (Wirz-Justice, 1987).

La existencia de ritmos circadianos en el funcionamiento del cerebro (Aeschbach *et al.*, 1999), plantea la posibilidad de que aspectos psicológicos, como los procesos cognoscitivos, presenten variaciones circadianas. Se han documentado variaciones circadianas en la ejecución de diferentes tareas, como: tareas de vigilancia, en el tiempo de reacción (D'Reaux *et al.*, 2000; Graw *et al.*, 2004; Kraemer *et al.*, 2000), en una tarea de ejecución continua (Valdez-Ramírez, Ramírez-Tule, García-García & Talamantes-López, 2009), en la cantidad de dígitos que se pueden repetir, en operaciones aritméticas (Blake, 1967), en tareas de memoria (Baddeley *et al.*, 1970; Folkard & Monk, 1980), en la velocidad manual, la búsqueda serial, el razonamiento verbal (Monk & Carrier, 1997) y el razonamiento lógico (Monk, Buysse, Reynolds & Kupfer, 1998). En la mayor parte de estos estudios la ejecución mejora durante el día, alcanza el nivel más alto entre las 20:00 - 22:00 h, y disminuye

hasta alcanzar el nivel más bajo en la madrugada, entre las 04:00 - 06:00 h (Carrier & Monk, 2000; Valdez, 1988).

Kleitman vinculó los ritmos en la fisiología con los ritmos en el rendimiento; propuso que los ritmos circadianos en la actividad metabólica (medida a través de la temperatura corporal) producen las variaciones circadianas en la ejecución (Kleitman & Jackson, 1950; Kleitman, 1963). De esta forma, las oscilaciones metabólicas pueden afectar la actividad cerebral, modulando los procesos cognoscitivos y como consecuencia produciendo los cambios en la ejecución.

A pesar de que se han realizado observaciones que apoyan la hipótesis de Kleitman (Wright, Hull & Czeisler, 2002), existen algunas excepciones. Se ha observado que algunos procesos cognoscitivos presentan variaciones circadianas, pero sus fases no coinciden con la fase del ritmo circadiano de temperatura corporal (Colquhoun, 1971), así mismo, otros procesos cognoscitivos no muestran variaciones circadianas (Blake, 1967; Monk & Carrier, 1997; Harrison *et al.*, 2007).

La hipótesis de Kleitman presupone que las oscilaciones en el metabolismo modulan toda la ejecución. Sin embargo, es posible que algunas áreas cerebrales sean

más sensibles a las variaciones en el metabolismo. Esto podría producir ritmos circadianos en procesos cognoscitivos básicos, que a su vez modularían el rendimiento en muchas tareas que dependen de éstos. Existen tres procesos cognoscitivos básicos que pueden modular el rendimiento en muchas tareas: la atención, la memoria de trabajo y las funciones ejecutivas (Cajochen, Khalsa, Wyatt, Czeisler & Dijk, 1999; Valdez, Ramírez & García, 2009). Debido a esto, es relevante el estudiar si existen ritmos circadianos en estos procesos básicos, con el fin de identificar cuál o cuáles de ellos cambian a lo largo del día.

Procesos cognoscitivos básicos

Para poder entender porqué se presentan variaciones a lo largo del día en la ejecución, es importante tomar en cuenta que el rendimiento de las personas en todas las tareas mencionadas depende de tres procesos cognoscitivos fundamentales: la atención, la memoria de trabajo y las funciones ejecutivas (Cajochen *et al.*, 2004; Carrier & Monk, 2000; Schmidt *et al.*, 2007). Debido a esto, es

relevante el estudiar si existen ritmos circadianos en estos procesos básicos.

La atención es la capacidad para interactuar eficientemente con el medio ambiente. Los pacientes con alteraciones en la atención presentan dificultades para seleccionar la información relevante del medio y, por consecuencia, se altera su ejecución en una gran cantidad de tareas.

La memoria de trabajo es la capacidad de almacenar, recordar y usar la información por periodos breves (segundos). Las personas que presentan alteraciones en la memoria de trabajo tienen dificultad para retener información, lo cual afecta la comprensión y el aprendizaje y, como resultado de esto, se afecta la ejecución en muchas tareas.

Por otro lado, la capacidad de las personas de programar, coordinar y supervisar el comportamiento es conocida como funciones ejecutivas; estas funciones juegan un papel fundamental en la toma de decisiones, la resolución de problemas y el autocontrol. Cuando las personas presentan una alteración en las funciones ejecutivas tienen dificultades para controlar su comportamiento, por lo que presentan errores para

resolver problemas y toman decisiones inadecuadas, lo cual se refleja en errores en la ejecución de muchas tareas.

En la mayor parte de los trabajos en los que se estudian variaciones circadianas en los procesos cognoscitivos básicos se registran de forma general, por ejemplo: se usa una sola variable para registrar el nivel global de atención, de la misma forma se registran el nivel global de memoria de trabajo y el nivel global de las funciones ejecutivas (Johnson et al., 1992; Schmidt et al., 2007; Valdez, Reilly & Waterhouse, 2008; Wright & Czeisler, 2002). Sin embargo, como se señaló anteriormente, estos procesos no son unitarios, sino que cada uno de ellos tiene varios componentes, los cuales están relacionados con el funcionamiento del cerebro.

Los procesos cognoscitivos básicos dependen del funcionamiento de estructuras cerebrales específicas interrelacionadas, que se conocen como sistemas funcionales cerebrales (Luria, 1989). En seguida se analizarán los componentes de los procesos cognoscitivos básicos, así como los sistemas funcionales cerebrales que los subyacen.

La atención esta compuesta por los siguientes componentes: alerta tónica, que es la capacidad general para responder a los eventos del medio ambiente; alerta fásica, que es la capacidad para responder a un evento después de una señal de aviso; atención selectiva, que es la capacidad para producir una respuesta específica a un estímulo específico y una respuesta diferente a otro estímulo; y atención sostenida que se refiere a la capacidad de continuar respondiendo eficientemente por un tiempo (minutos a horas) (Berger & Posner, 2000 ; Cohen & O'Donnell, 1993). La alerta tónica depende de la activación del sistema reticular, mientras que los otros componentes requieren la participación de la corteza cerebral (lóbulo parietal y lóbulo frontal). Se han encontrado variaciones circadianas en tres componentes de la atención: alerta tónica, alerta fásica y atención selectiva. Los niveles mínimos de esos componentes de la atención ocurre entre las 04:00 a 07:00 h (Valdez, Ramírez, García & Talamantes, 2008; Valdez *et al.*, 2005).

La memoria de trabajo tiene dos componentes: el almacén fonológico, que procesa información acústica del lenguaje, ya sea basada en el habla o en información proveniente de material escrito, el cual al leerse

también se procesa como información sonora; y el almacén visoespacial, que es responsable de mantener y procesar información visual dentro de un marco espacial (Baddeley & Logie, 1999). El almacén fonológico es un componente que depende de la actividad del lóbulo temporal del hemisferio izquierdo, mientras que el almacén visoespacial depende del lóbulo occipital del hemisferio derecho (Burton & Harden, 1997; Burton, Locasto, Krebs-Noble & Gullapalli., 2005). Se han encontrado ritmos circadianos en ambos almacenes de la memoria de trabajo, tanto en el fonológico como en el visoespacial, en donde se ha observado que el nivel más bajo de estos componentes ocurre entre las 04:00 a 07:00 h. (Ramírez et al., 2006). Además de esto, se encontró que el nivel más bajo de la memoria fonológica ocurre 1 hora después del nivel más bajo de la temperatura rectal, mientras que la memoria de trabajo visoespacial alcanza su nivel más bajo 3 horas después que el punto más bajo de la temperatura rectal.

En el siguiente apartado se revisa el proceso cognoscitivo básico de las funciones ejecutivas.

Las funciones ejecutivas

Las funciones ejecutivas no son un proceso unitario, debido a que estas funciones están conformadas por diferentes procesos específicos, relacionados con diferentes regiones de la corteza prefrontal (Stuss & Alexander, 2000). Estas funciones ejecutivas son responsables de que la persona sea capaz de analizar la situación, diseñar una estrategia de respuesta, actuar de acuerdo a esta estrategia y monitorear los resultados de sus propias acciones. Para lograr esto la persona realiza una serie de pasos en su comportamiento que incluyen: iniciativa, que se refiere a la capacidad para fijarse metas e iniciar el comportamiento para alcanzar tales metas; planeación, que es la capacidad para organizar y programar el comportamiento de acuerdo con dichas metas; acción, que es la capacidad de actuar conforme al plan; verificación, que implica la capacidad para observar las acciones que está llevando a cabo, así como su resultado; y corrección, que se refiere a la capacidad para ajustar el comportamiento de tal manera que se logre la meta inicial (Valdez et al., 2005; Ramírez et al., 2009). Sin embargo, es importante no confundir los pasos antes

mencionados con los componentes de las funciones ejecutivas, ya que éstas son funciones cerebrales que subyacen a los comportamientos que describen estos pasos (Figura 1). Enseguida se describe la inhibición, la flexibilidad, la previsión y el auto-monitoreo, componentes de las funciones ejecutivas que son estudiados en esta tesis.

La inhibición se refiere a bloquear comportamientos hacia metas secundarias o irrelevantes. Este componente es esencial en situaciones donde que se requiere una respuesta diferente a la utilizada habitualmente.

La flexibilidad se refiere a la capacidad para modificar la estrategia de respuesta de acuerdo a las necesidades cambiantes del ambiente. La flexibilidad se observa cuando las personas presentan respuestas específicas ante estímulos específicos y, en un momento dado, estas respuestas dejan de ser adecuadas, por lo que la persona tiene que llevar a cabo cambios en su forma de responder.

Otro componente de las funciones ejecutivas es la previsión, que se refiere a la capacidad para organizar y programar el comportamiento para llegar a una meta. Esto

implica anticipar los posibles resultados de las acciones antes de llevarlas a cabo.

El último componente de las funciones ejecutivas que es estudiado en esta tesis es el auto-monitoreo. El auto-monitoreo implica que la persona observe su comportamiento, tanto su acción como el resultado que se produce por dicha acción; este monitoreo permite que la persona verifique y corrija su comportamiento.

Los componentes de las funciones ejecutivas se han establecido tomando como base los síntomas que presentan los pacientes con lesión en los lóbulos frontales. Estos pacientes presentan incapacidad para uno, varios o todos los siguientes comportamientos: iniciar respuestas, suprimir respuestas, deducir reglas, mantener o cambiar un tipo de respuesta, resolver problemas, y planear (Luria, 1986; Godefroy, 2003).

Funciones ejecutivas

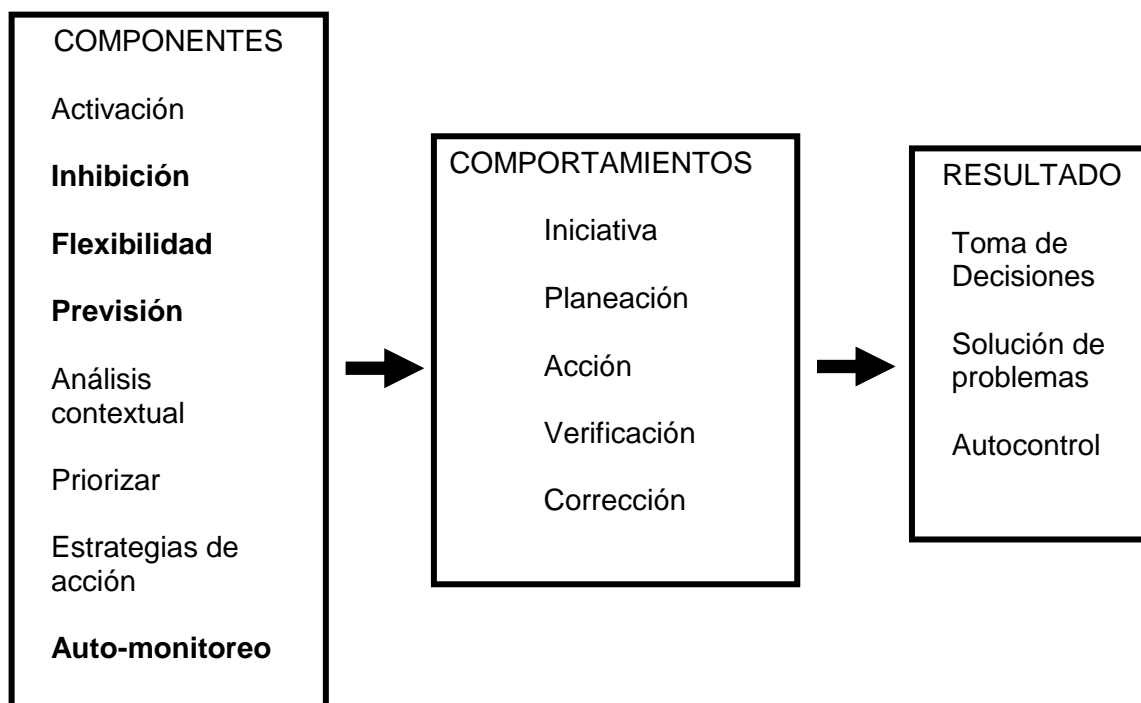


Figura 1. Componentes de las funciones ejecutivas. Los componentes de las funciones ejecutivas (izquierda) son determinantes de la secuencia de comportamientos de las personas (centro) que los lleva a tomar decisiones, resolver problemas y tener autocontrol (derecha) (Ramírez et al., 2009). Los componentes de las funciones ejecutivas que se presentan con negritas se estudiaron en esta tesis.

Las funciones ejecutivas, entonces, dependen de la actividad de la corteza frontal, específicamente del área prefrontal. Para entender el funcionamiento del cerebro y su relación con las funciones ejecutivas, se ha planteado la participación del área prefrontal como un sistema de programación y monitoreo descendente que modula la activación de diferentes regiones cerebrales: la corteza temporal, parietal y occipital, que procesan la información sensorial; el área frontal dorsal y los ganglios basales, encargados de la programación, la modulación y la acción motora; la formación reticular, encargada de la alerta; y el lóbulo temporal medial, que participa en la respuesta emocional (Gruber & Goschke, 2004; Miller & Cohen, 2001).

Además, se ha propuesto que áreas específicas del prefrontal son responsables de componentes específicos (Stuss & Alexander, 2000). Esto se ha intentado probar utilizando diferentes estrategias de imagen y función cerebral como los estudios que utilizan Imagen por Resonancia Magnética funcional (MRI-f). En estos estudios, se encontró que una red de diferentes regiones, entre ellas corteza prefrontal ventral derecha y dorso-lateral izquierda, y corteza parietal inferior derecha, se

relaciona con la inhibición, mientras que el giro del cíngulo anterior se ha relacionado con el procesamiento de los errores, y la corteza Pre-SMA (Área Motora Suplementaria) con el monitoreo de conflicto, indicadores del auto-monitoreo (Fassbender, Murphy, Foxe, Wylie, Javitt, Robertson et al., 2004; Garavan, Ross, Murphy, Roche & Stein, 2002).

Como se mencionó anteriormente, es importante identificar y estudiar situaciones en donde se pueda analizar cada uno de estos componentes de manera individual, así como que sean ecológicamente válidas (Alexander & Stuss, 2006; Zalla, Plassiart, Pillon, Grafman & Sirigu, 2001), es decir, tareas donde se puedan analizar indicadores específicos para cada componente. A continuación se presentan indicadores basados en la ejecución de tareas específicas para cada uno de los componentes de las funciones ejecutivas, relacionados con la activación de la corteza prefrontal.

Con respecto a la inhibición, es posible estudiarla con la tarea respuesta - no respuesta (go - no go task), en donde la persona responde con una tecla frecuentemente, y sólo tiene que dejar de responder en algunas ocasiones (alrededor del 10% de los estímulos);

ante estos estímulos específicos debe inhibir su tendencia para continuar respondiendo (Van Boxtel, Van der Molen, Jennings & Brunia, 2001). En esta tarea se mide la capacidad de las personas para inhibir sus respuestas, por lo que las omisiones son consideradas como respuestas correctas. Sin embargo, los resultados de esta tarea pueden ser confundidos con un deterioro en la alerta tónica, que es la capacidad para responder de forma general, ya que las omisiones aumentan cuando la alerta tónica disminuye. Por otro lado, también se ha estudiado la inhibición al observar situaciones en donde la persona selecciona una respuesta sobre otra no relevante para la meta, pero que presenta mayor facilidad de ejecución debida a la experiencia previa; la respuesta inadecuada debe ser inhibida para llevar a cabo la respuesta adecuada para la meta. Esta situación se ha evaluado a través de la tarea Stroop. La tarea Stroop es utilizada en una gran cantidad de estudios (MacLeod, 1991; Stroop, 1935). En esta tarea se presentan nombres de colores impresos en un color diferente, por ejemplo la palabra "verde" en tinta roja, y las personas tienen que primero leer las palabras impresas, y luego nombrar el color de la tinta. La respuesta que se considera más

facilitada es leer, y la menos facilitada es nombrar el color. Se ha observado que cuando la respuesta de leer es inhibida para nombrar el color, aumenta el tiempo de ejecución, pero no viceversa. Es importante mencionar que se ha encontrado una activación electroencefalográfica (EEG) de la corteza prefrontal durante el desempeño de las tareas de respuesta - no respuesta y Stroop (McLeod & McDonald, 2000; Van Boxtel *et al.*, 2001; West & Bell, 1997), así como se han encontrado diferencias en la ejecución de nombrar el color de las palabras incongruentes del Stroop entre personas con daño prefrontal y personas con daño en otras regiones cerebrales (Demakis, 2004; Stuss *et al.*, 2001).

Para poder observar el componente de flexibilidad de las funciones ejecutivas, se han desarrollado tareas en donde la situación es cambiante, de tal manera que la estrategia de respuesta debe modificarse constantemente con estos cambios. Esta situación se ha observado en modificaciones de la tarea Stroop (Barber & Carter, 2005; Dunbar & Sussman, 1995) en la cual las personas tienen que cambiar frecuentemente de una respuesta a otra (leer la palabra y decir el color), con lo cual se puede observar su capacidad de ser flexibles al alternar las

respuestas. Se ha encontrado una activación EEG en el área prefrontal de la corteza cerebral durante la ejecución de una tarea con criterio cambiante (Dunbar & Sussman, 1995).

La previsión ha sido evaluada a través de la ejecución de las personas en tareas como laberintos del WISC-R (Weschler, 1981), donde los errores al elegir un callejón sin salida se consideran como indicadores de este componente. Sin embargo, la desventaja de esta tarea es que las personas pueden resolverla sólo con previsualizar su acción, es decir, seguir con la vista los caminos posibles para elegir el único correcto antes de trazar la línea de respuesta. De acuerdo con la definición de previsión, para poder evaluarla son necesarias situaciones donde las personas tengan que organizar su comportamiento, al tener diferentes alternativas de respuesta, por lo que se ha planteado el uso de situaciones inestructuradas, con muchas posibilidades de respuesta. Una de estas situaciones es presentada en la tarea de mapas. A diferencia de los laberintos, en la tarea de mapas se presentan todos los caminos completamente abiertos, ya que representa por una vista superior de una ciudad, formada por "manzanas" y

“calles”. En este tipo de tareas las personas tienen que buscar, en el menor tiempo posible, el camino más corto para llegar de la entrada hasta la salida, pasando por diferentes lugares marcados con puntos. En esta tarea hay muchas respuestas correctas, lo cual implica que la ejecución de la propia persona delimita las posibilidades de terminar el mapa sin error, es decir, sin utilizar el mismo camino o cruzar el camino previamente trazado, por lo que se considera una tarea inestructurada donde la previsión es una pieza clave para su resolución. Se ha observado una activación del lóbulo prefrontal durante la ejecución de este tipo de tareas (Basso *et al.*, 2006).

Además de esto, es importante poder identificar la capacidad de las personas de auto-monitoreo, es decir, su capacidad para verificar y corregir su comportamiento. Un factor importante en este componente es como las personas modifican su comportamiento para ajustarse a los cambios inesperados en el ambiente. Esto se puede hacer analizando la capacidad de la persona para contestar la tarea de seguimiento. Esta tarea consiste en seguir con el Mouse de la computadora un punto en la pantalla, el cual cambia de velocidad y dirección de manera aleatoria, por lo cual la persona debe ajustar sus movimientos, de

tal manera que pueda monitorear constantemente y corregir su comportamiento para de esta forma ajustarse a los cambios de dicho punto. Se ha encontrado una activación EEG en la corteza prefrontal cuando las personas ejecutan esta tarea (Krigolson & Holroyd, 2006).

Ritmos circadianos en las funciones ejecutivas

Para poder revisar los estudios donde se analizan variaciones circadianas en las funciones ejecutivas, es importante primero considerar qué se conoce sobre los ritmos circadianos en los procesos cognoscitivos básicos.

Dentro del campo de los ritmos biológicos, existen pocos trabajos en los que se analizan indicadores de los componentes de cada uno de los procesos cognoscitivos básicos (Schmidt *et al.*, 2007; Valdez *et al.*, 2008). Este número reducido de trabajos puede ser debido al enfoque teórico, ya que en la mayoría de los trabajos se estudia la ejecución en tareas generales, más que analizarla desde el punto de vista de la organización funcional del cerebro. Esto implica un análisis neuropsicológico, por medio del cual se pueden estudiar los componentes de cada uno de los procesos cognoscitivos básicos. Además de

esto, en contadas excepciones se han utilizado estrategias de medición o tareas específicas que indiquen de forma clara y ecológicamente válida la capacidad de las personas en cada uno de los componentes de los procesos cognoscitivos básicos. Estas limitaciones se han encontrado de forma particular en el proceso cognoscitivo básico de las funciones ejecutivas.

Algunos estudios han intentado analizar los cambios durante el día en las funciones ejecutivas por medio de tareas que no permiten identificar índices específicos de los componentes de las funciones ejecutivas, ya que incluyen múltiples procesos, tales como la percepción, la memoria, el lenguaje y las emociones. Algunos ejemplos de estas tareas son: el test de manchas de Rorschach (Mackenberg *et al.*, 1974), completar frases con palabras incongruentes, categorización de palabras con no respuesta (May & Hasher, 1998), y asociación de palabras con interferencia (May, 1999).

Existen pocos trabajos que intentan determinar la presencia de ritmos circadianos en las funciones ejecutivas en los que se pueden analizar indicadores de sus componentes. En estudios donde se ha analizado indicadores del componente de inhibición, se han

utilizado una tarea tipo "respuesta - no respuesta" (Harrison, Jones & Waterhouse, 2007; Manly et al., 2002), y una tarea tipo Stroop (Hartley & Shirley, 1976). En estos estudios se ha encontrado una disminución en la capacidad de inhibición en las horas de la tarde. Es importante apuntar que el hecho de que haya disminuido la ejecución en estas tareas durante la tarde no concuerda con los resultados encontrados en muchas otras tareas, donde disminuye la ejecución durante la madrugada (Carrier & Monk, 2000; Valdez, 1988). Harrison et al. (2007) proponen que estos resultados son debidos a una fatiga acumulada, más que a un efecto circadiano, ya que al analizar el desempeño de las personas a diferentes horas del día en una tarea de "respuesta - no respuesta" con un protocolo de desincronización forzada, encontraron que el factor que determinó dichos cambios fue el tiempo que llevaban despiertos (privación del dormir), mientras que no encontraron un efecto circadiano claro.

Por otro lado, existen pocos trabajos que han analizado indicadores del componente de flexibilidad a diferentes horas del día. En un estudio donde se analiza la capacidad de las personas de cambiar de una tarea a otra, considerado como indicador de flexibilidad, en un

protocolo de rutina constante por 40 h, se encontró un aumento en el tiempo de respuesta ante los cambios de tareas durante la mañana, posterior a la privación del dormir (Bratzke et al., 2009).

Además, se han analizado los cambios a lo largo del día en una tarea de laberintos, considerada como indicador de la capacidad de previsión. Se encontró una disminución en la ejecución de esta tarea temprano en la mañana, solamente en los participantes que fueron privados de sueño y con ciertos laberintos, considerados por los autores como de mayor dificultad (Blatter, et al., 2005). Con estos resultados no se puede concluir que exista un efecto circadiano en la capacidad de previsión; debido a esto es necesario utilizar situaciones inestructuradas como la tarea de mapas descrita con anterioridad y observar la capacidad de las personas para responder esta tarea a diferentes horas del día.

En cuanto al componente de auto-monitoreo, se ha estudiado la capacidad de las personas de ajustar su comportamiento a los cambios en el ambiente a través de la eficiencia para responder tareas de seguimiento a diferentes horas del día. Mullaney et al. (1983) estudiaron una tarea de seguimiento que consistió en

hacer coincidir el cursor en forma de cruz con un blanco que se movía al azar y presionar el botón de una palanca la mayor cantidad de veces durante 3 min. Después de cada acierto el participante recibió retroalimentación. En este estudio utilizaron un protocolo de vigilia prolongada de 42 h. Se encontró que la eficiencia para responder a esta tarea disminuía en la madrugada, independientemente de la privación de sueño (Mullaney et al., 1983). Por otra parte, Goh et al. (2001) registraron a personas a diferentes horas del día mediante una tarea de seguimiento con rotación. En esta tarea los participantes tenían que seguir con un indicador el movimiento de un disco en rotación por 10 minutos. Los autores observaron una disminución en la eficiencia para ejecutar esta tarea en la madrugada y temprano en la mañana, así como una mejor ejecución en la tarde, tanto en personas privadas como no privadas de sueño (Goh et al., 2001). En otro estudio, realizado por van Eekelen y Kerkhof (2003), se encontraron resultados similares, ya que también se observó una disminución de la ejecución ante una tarea de seguimiento en la madrugada y temprano en la mañana en personas que estuvieron en un protocolo de rutina constante de 27 horas continuas. Esta tarea de

seguimiento consistía en mantener el cursor dentro de dos barras laterales cuyo movimiento fue al azar; si el cursor tocaba una de las barras se presentaba un sonido como retroalimentación. En este estudio, la tarea de seguimiento se aplicó simultáneamente con tareas de memoria (van Eekelen & Kerkhof, 2003). En resumen, en estos trabajos se utilizaron tareas de seguimiento y observaron cambios a lo largo del día. Sin embargo, estos trabajos no analizan la capacidad de las personas de ajustarse a los cambios, ya que en dichas tareas la persona responde a los movimientos del estímulo que son constantes en unos estudios o azarosos en otros, por lo cual no se mide específicamente la capacidad de las personas para ajustar su comportamiento ante los cambios en las demandas del ambiente. Debido a esto, es necesario diseñar tareas de seguimiento que incluyan tanto trayectorias fijas como cambios impredecibles de dirección y velocidad del estímulo. En este tipo de tareas, se podrá observar la eficiencia de la persona para ajustar su ejecución a estos cambios, lo cual permitirá evaluar si es capaz de realizar este ajuste a diferentes horas del día.

Por otro lado, los ritmos circadianos en la fisiología y la ejecución se han estudiado por medio de tres métodos: el protocolo de hora del día, el protocolo de rutina constante y el protocolo de desincronización forzada.

En el protocolo de hora del día se registra la ejecución de las personas en distintos momentos de la vigilia (de 2 a 6 observaciones) en condiciones naturales. Las ventajas de este método es que se pueden observar los cambios en la ejecución de las personas en su vida cotidiana. Sin embargo, estas observaciones no permiten determinar si estos cambios diarios son debidos a los cambios en el ambiente o al reloj biológico interno de las personas.

En el protocolo de desincronización forzada se mantiene a los participantes en un laboratorio por varias semanas con un periodo de vigilia-sueño artificial de 28 horas, al cual no se pueden ajustar los ritmos circadianos, de tal forma que siguen un libre curso cercano a 24 horas. En estas condiciones, se registra la ejecución durante la vigilia y se observan las variaciones circadianas en la ejecución, tomando como referencia los cambios de otro ritmo circadiano

reconocido, como la temperatura corporal (Dijk, Duffy & Czeisler, 1992). Las ventajas de este protocolo es que permite observar de forma diferenciada los cambios en la ejecución que se relacionan con los ritmos circadianos, de los cambios que se presentan en función del tiempo que tiene despierta la persona. Las desventajas de este protocolo son que representa una situación artificial, por lo que lo observado en este protocolo no se puede relacionar fácilmente con lo observado en la vida cotidiana de las personas, además de que requiere de mucho tiempo de observación, así como de la participación de personas que tengan disposición para pasar por estas condiciones.

En el protocolo de rutina constante, se registra la ejecución de las personas cada una a tres horas por un mínimo de 24 horas continuas en el laboratorio, donde se mantienen constantes la temperatura ambiental, la exposición a la luz, el contacto social, la actividad física y la ingesta calórica (Duffy & Dijk, 2002). Con este protocolo es posible observar los cambios circadianos que se presentan en la ejecución, al mantener constantes las condiciones ambientales que normalmente fluctúan, así, se pueden registrar cambios considerados

como endógenos. Las ventajas de este protocolo son que permite estudiar los ritmos circadianos en la ejecución, que se presentan en forma independiente de los cambios ambientales. Además de esto, con este protocolo se puede obtener información en menos tiempo que en el protocolo de desincronización forzada. Las desventajas de este protocolo son que las personas pasan por una vigilia prolongada, por lo que es necesario tomar en cuenta que presentan una fatiga acumulada. Además de esto, igual que el protocolo de desincronización forzada, representa una situación artificial, por lo que las observaciones hechas de esta forma son difíciles de interpretar en la vida cotidiana de las personas; sin embargo, este método se considera crucial para poder observar ritmos circadianos (Hanneman, 2001). Debido a que el propósito de este estudio es analizar si existen variaciones circadianas en los componentes de las funciones ejecutivas, se seleccionó el protocolo de investigación de rutina constante.

La mayoría de los estudios que analizan la presencia de variaciones circadianas en las funciones ejecutivas utilizan un protocolo de hora del día (Hartley & Shirley, 1976; Johnson et al., 1992; Mackenberg et al., 1974;

Manly *et al.*, 2002; May & Hatcher, 1998; May, 1999; Schmidt *et al.*, 2007; Mullaney, *et al.*, 1983; Goh *et al.*, 2001). Sólo un trabajo analizó una tarea de respuesta - no respuesta con un protocolo de desincronización forzada (Harrison *et al.*, 2007), y otros analizaron el cambio entre tareas (Bratzke *et al.*, 2009), una tarea de laberintos (Blatter *et al.*, 2005) y una tarea de seguimiento (van Eekelen & Kerkhof, 2003) con un protocolo de rutina constante.

En resumen, la mayoría de los estudios que tienen como objetivo analizar las variaciones circadianas en las funciones ejecutivas presentan una serie de limitaciones al utilizar tareas inadecuadas para analizar los componentes de las funciones ejecutivas, o utilizar un protocolo de hora del día, donde no es claro si las diferencias encontradas son debidas a un factor circadiano o dependen de otros factores que no son controlados en dicho protocolo, ya que se registra en condiciones naturales. En los trabajos que utilizaron tareas consideradas como indicadores de los componentes de inhibición, flexibilidad, previsión y auto-monitoreo, y que además utilizaron protocolos de desincronización forzada o rutina constante, los resultados obtenidos no

son claros, ya que las diferencias encontradas a lo largo del tiempo parecen deberse más a un efecto de la privación del dormir que a un ritmo circadiano, o los indicadores son tomados de forma general.

Debido a esto, es importante analizar con un protocolo de rutina constante la presencia de variaciones circadianas en los componentes de las funciones ejecutivas, tanto en la inhibición y la flexibilidad, como en la previsión y el auto-monitoreo, utilizando indicadores específicos para cada componente, relacionados con el funcionamiento de la corteza prefrontal.

La principal aportación de esta tesis es el análisis de las variaciones circadianas en diferentes componentes de las funciones ejecutivas, ya que existen pocos trabajos en los que se analizan estos componentes que subyacen a la ejecución de las personas en muchas tareas; no se han encontrado resultados claros al analizar los componentes de inhibición y previsión de las funciones ejecutivas (Blatter *et al.*, 2005; Harrison *et al.*, 2007; Schmidt *et al.*, 2007); además de que no se ha hecho un análisis de indicadores específicos de otros componentes de las funciones ejecutivas, como el auto-monitoreo (van Eekelen & Kerkhof, 2003). Por otro lado, en este estudio

se analiza la relación de fase de las variaciones encontradas en los componentes de las funciones ejecutivas, con la fase de la temperatura corporal. Esto permite identificar cómo el reloj biológico modula el funcionamiento de la corteza prefrontal, lo cual no ha sido analizado en estudios previos.

Además de esto, en esta tesis se estudian los ritmos circadianos en los componentes de las funciones ejecutivas por medio de un protocolo de rutina constante, el cual se considera como uno de los 2 métodos cruciales para demostrar variaciones circadianas, ya que permite controlar las variables que pueden afectar los ritmos circadianos (Hanneman, 2001), así mismo brinda información que permite observar los cambios a lo largo del día. Esto es relevante, ya que la mayoría de los estudios previos utilizaron un protocolo de hora del día (Hartley & Shirley, 1976; Johnson et al., 1992; Mackenberg et al., 1974; Manly et al., 2002; May & Hatcher, 1998; May, 1999; Schmidt et al., 2007; Mullaney, et al., 1983; Goh et al., 2001).

Capítulo 3. Método

Diseño de la investigación

Este es un estudio cuantitativo, con un diseño cuasi-experimental de series temporales. Se clasifica dentro de este diseño debido a que la ejecución de los participantes se observó en diferentes horas del día en condiciones de laboratorio y se controlaron variables como la temperatura ambiental, la exposición a la luz, la ingesta calórica, la actividad física y el contacto social. Este estudio también se puede clasificar como diacrónico, es decir, longitudinal, debido a que se hicieron diferentes observaciones a lo largo del tiempo.

El muestreo para la selección de los participantes en este estudio fue intencional (no probabilístico), ya que sólo se incluyeron a personas que no presentaron trastornos en su salud, principalmente en su dormir, ni antecedentes de riesgo de daño cerebral, así como personas que no consumían sustancias que alteran el funcionamiento del sistema nervioso.

Participantes

Se registraron 13 estudiantes universitarios, 3 hombres y 10 mujeres, de entre 17 y 26 años de edad (18.31 ± 2.39 años de edad; promedio \pm desviación estándar), de primer semestre de la Licenciatura en Psicología de la UANL (Tabla 1).

Todos los participantes asistían a clases en un horario matutino (7:10 - 13:10 h) tres días a la semana. El resto de los días no tenían actividades programadas con horario fijo.

Los participantes no presentaron trastornos de salud ni del dormir, así como no tenían antecedentes de posible riesgo de daño cerebral.

Su participación fue voluntaria, no recibieron remuneración económica ni académica. Cada participante así como los padres de los participantes menores de edad manifestaron por escrito su consentimiento, para lo cual firmaron una carta de aceptación. En esta carta manifestaron que conocían el procedimiento de este estudio.

Es importante mencionar que el protocolo de investigación utilizado en esta tesis se llevó a cabo de

acuerdo con los principios de la declaración de Helsinki para la investigación con humanos.

Instrumentos

Cuestionarios

1. Cuestionario de datos generales (Valdez *et al.*, 1998).

En este cuestionario se registró información personal de los sujetos, como edad, estado civil, horarios escolares y de ejercicio (Apéndice A).

2. Cuestionario de antecedentes de riesgo de daño

cerebral. En este cuestionario, los participantes informaron de eventos que sugieren un posible riesgo de daño cerebral, tales como: golpe en la cabeza con pérdida de la conciencia por más de una hora, convulsiones, infarto cerebral, hipoxia cerebral, meningitis, etc. (Apéndice B).

3. Autoevaluación de la fase circadiana (Horne & Ostberg,

1976; Valdez *et al.*, 1998). En este cuestionario el participante contestó 19 preguntas sobre sus preferencias para utilizar el tiempo. Específicamente, se pregunta sobre los horarios para dormir, comer,

trabajar, hacer ejercicio, etc. Basándose en las respuestas emitidas por los participantes, se clasifican en un espectro que va de ser madrugador extremo a trasnochador extremo (Apéndice C).

4. Cuestionario de trastornos del dormir (Lack & Thorn, 1992; Valdez et al., 1998). Mediante este cuestionario se determinó la presencia y el grado de diferentes trastornos del sueño como insomnio, somnolencia excesiva y algunas parasomnias (Apéndice D).
5. Diario del dormir (Valdez et al., 1998). Con este cuestionario se registró diariamente el horario del dormir, las siestas, así como la asistencia a la escuela y si el participante presentó algún examen (Apéndice E).
6. Reporte de ingestión de alimentos (Valdez et al., 2005). En este cuestionario el participante informa todos los alimentos ingeridos durante un día. Las respuestas del participante se usaron para calcular el promedio diario de ingesta calórica (Apéndice F).
7. Escalas visuales analógicas para el registro de somnolencia y cansancio (Cluydts, De Valck, Verstraeten & Theys, 2002). En estas escalas los participantes señalaron con una cruz su nivel de

somnolencia o cansancio actual en una línea horizontal de 10 cm de largo, en donde el extremo izquierdo representa la más baja sensación y el derecho la máxima sensación (Apéndice G).

Área de registro

Se utilizaron dos cámaras de aislamiento térmico, acústico y de la iluminación solar. Los cubículos tenían un área de 3 x 3.3 m, en el centro se encontraba un sillón reclinable donde se recostaba el participante, y sobre el cual se colocó un estante con una computadora. Cada cámara contó con baño privado (Figura 2). En estas cámaras se mantuvo la temperatura ambiental a $24 \pm 1^{\circ}\text{C}$. La iluminación máxima fue de 5 lux medida al nivel de los ojos de los participantes. El registrador en turno se sentaba del lado izquierdo-posterior del participante, fuera de su campo visual. Los participantes fueron acompañados durante todo el registro por un registrador a la vez (Figura 7). Cada registrador permanecía con el participante máximo por un registro (100 min) en cada ocasión.

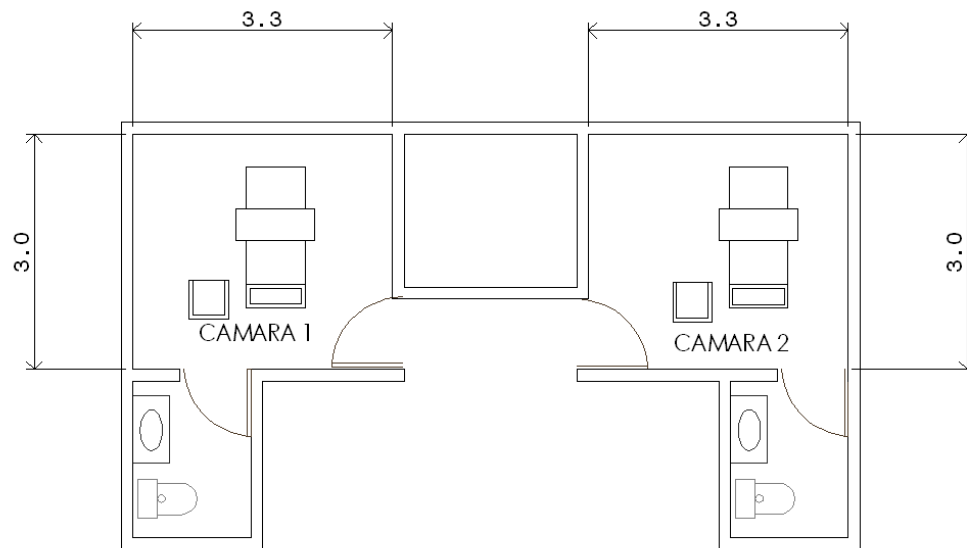


Figura 2. Dimensiones y disposición de las cámaras de aislamiento de temperatura, iluminación y sonido externo. Cada cámara tenía un área de 3 x 3.3 m. En el centro se encontraba un sillón reclinable donde se recostaba el participante, y sobre este se encontraba un estante donde se colocó una computadora. En la parte izquierda-posterior del reclinable se encontraba una silla donde se sentaba el registrador en turno. Cada cámara contaba con un baño privado con las mismas condiciones de iluminación y temperatura que la cámara de registro.

Tareas

1. Tarea de Stroop con criterio cambiante (modificada de MacLeod & MacDonald, 2000; Stroop, 1935) (Figura 3). Esta tarea consta de una serie de 48 palabras que nombran colores impresas en colores incongruentes, por ejemplo la palabra "rojo" impresa en color verde. Los participantes tienen que realizar tres actividades, la primera es leer las palabras, la segunda es decir el color en que están impresas las palabras, y en la tercera actividad, el participante intercambia los criterios previos, es decir, lee algunas palabras y dice el color de otras, en función de si estas palabras se encuentran marcadas con un punto negro a la izquierda.

En esta tarea se mide el tiempo de ejecución ante cada actividad, así como la cantidad de errores. Los errores y el tiempo en la segunda actividad, nombrar los colores, son indicadores del componente de inhibición. En esta actividad, también se analizaron los errores en los que se leen las palabras en lugar de decir el color, de tal forma que podemos medir el

tiempo y los errores que presentan para inhibir la primera actividad (leer) como indicadores más específicos de este proceso. Además, el tiempo de ejecución y los errores de la tercera actividad, donde se cambian los criterios de leer y decir los colores, son indicadores del componente de flexibilidad (Tabla 2). Para este proceso, también se analizó la precisión para responder ante los cambios de criterios, es decir, cuando la tarea requería que la persona cambiara de leer a decir el color o viceversa (de una palabra señalada a otra no señalada, o a la inversa).

Un factor muy importante para el análisis de variaciones circadianas en procesos cognoscitivos es contar con un número de estrategias de medición equivalentes pero diferentes, es decir, que permitan evaluar de igual manera la capacidad para responder, sin un efecto de práctica. Estas estrategias permiten comparar la ejecución de las personas en diferentes momentos del día. Por tal motivo, para este estudio, se utilizaron 20 versiones de la tarea Stroop. Para el diseño de cada una de las 20 versiones se utilizaron las mismas palabras (4 listas de 12 combinaciones de 4 colores), pero cada tarea presentó un orden diferente,

así mismo, en cada tarea se colocaron los puntos en diferentes palabras.

2. Tarea de mapas (modificada de Basso et al., 2006) (Figura 4). Para este estudio se diseñaron 10 mapas con múltiples opciones de respuesta. Cada mapa consistía en un área de 18 x 16 cm, la cual tenía cuatro entradas en la parte superior y cuatro salidas en la parte inferior. El área del mapa contenía diferentes figuras geométricas que simulaban "manzanas" y "calles". Seis figuras que se localizaban en diferentes posiciones se marcaron con números del 1 al 6.

Las instrucciones que se les dieron a los participantes fueron las siguientes:

- A. Elige una de las cuatro entradas superiores.
- B. Traza un camino pasando por cada número en orden progresivo.

Estímulos presentados	Color de impresión
• ROJO	(verde)
VERDE	(azul)
• CAFÉ	(rojo)
• AZUL	(café)
VERDE	(rojo)
• ROJO	(azul)

Figura 3. Algunos ejemplos de los estímulos presentados en la tarea de Stroop modificada. Los participantes tenían que primero leer las palabras, luego decir el color en que estaban impresas, y por último, cambiar de una instrucción a otra (leer-nombrar colores) según si las palabras estaban o no marcadas con un punto a la izquierda.

Tabla 2. Indicadores de los componentes de las funciones ejecutivas estudiados en esta tesis.

Componente	Indicadores	Mediciones
Inhibición	Capacidad para nombrar los colores en tarea Stroop	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de ejecución • Porcentaje de respuestas correctas • Errores de leer
Flexibilidad	Capacidad para cambiar de criterios en la tarea Stroop	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de ejecución • Porcentaje de respuestas correctas • Precisión para responder ante los cambios de actividad
Previsión	Capacidad para contestar la tarea de mapas	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de números alcanzados sin error • Distancia recorrida por número sin error • Tiempo de ejecución por número sin error
Auto-monitoreo (ajuste a cambios en el ambiente)	Capacidad para ajustarse a los cambios de la tarea de seguimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de círculos requeridos para ajustarse a los cambios • Latencia para responder al cuarto círculo después de los cambios • Precisión para responder al cuarto círculo después de los cambios

- C. Selecciona una de las cuatro salidas inferiores.
- D. Sigue el camino más corto y en el menor tiempo posible.
- E. Evita utilizar el mismo camino 2 veces, cruzar una línea trazada previamente, saltar números o levantar el marcador del papel.

Los indicadores para evaluar la previsión fueron la cantidad de números alcanzados sin error, la distancia y el tiempo por número alcanzado sin error (Tabla 2).

3. Tarea de seguimiento (modificada de Krigolson & Holroyd, 2006) (Figura 5). La tarea de seguimiento utilizada en este estudio consistió en un círculo de 50 píxeles de diámetro que siguió una trayectoria lineal a través de la pantalla con una velocidad de desplazamiento constante (intervalo inter-estímulo fijo).

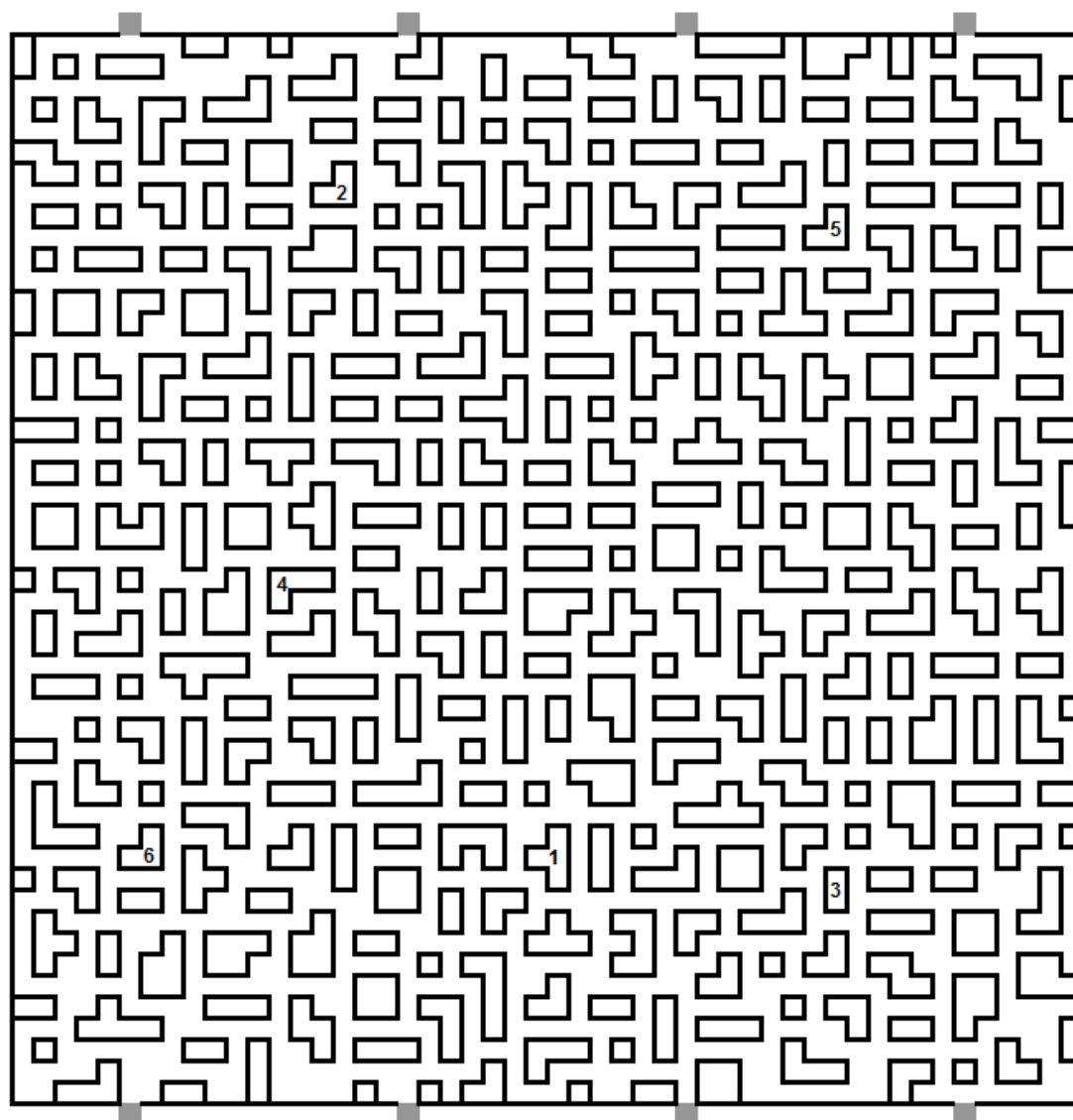


Figura 4. Ejemplo de la tarea de mapas modificada. Los participantes tenían que elegir una entrada de la parte superior, trazar un camino que pasara por los números en orden progresivo, y elegir una salida en la parte inferior, mientras que debía evitar usar el mismo camino 2 veces, cruzar la línea trazada o despegar el marcador del papel.

El círculo permanecía durante 180 ms en la pantalla de una computadora, mientras que el intervalo inter-estímulo fijo fue elegido al azar para cada trayectoria de entre 200 a 730 ms. Cada vez que aparecía el círculo, los participantes tenían que colocar el cursor dentro del mismo y presionar el botón izquierdo del ratón con el dedo índice de la mano derecha. Después de la presentación de 22 ó 33 círculos, se modificó la trayectoria y la velocidad de desplazamiento (intervalo inter-estímulo). Se presentaron 16 cambios de trayectoria y velocidad de desplazamiento de forma aleatoria. La tarea tuvo una duración total de 7 min.

Para determinar el grado de ajuste a los cambios en la tarea se analizó la eficiencia y la velocidad para responder durante los primeros estímulos después de un cambio de trayectoria, y luego se comparó la eficiencia para responder al primero y al cuarto círculo después del cambio de trayectoria.

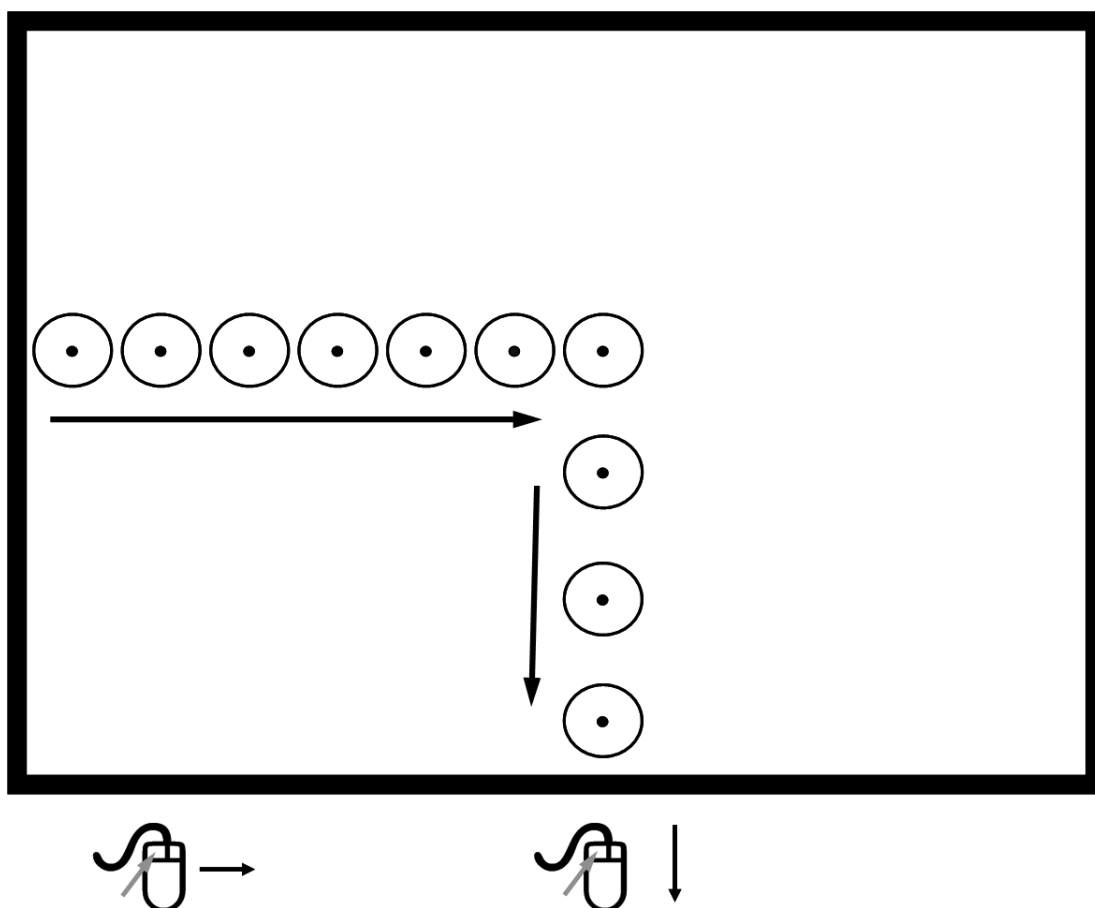


Figura 5. Esquema representativo de la tarea de seguimiento modificada. En esta tarea aparecía un círculo el cual se desplazaba en una dirección y con una velocidad específica. Luego de 22 ó 33 círculos, la dirección y la velocidad cambiaban. Los participantes debían ubicar el cursor dentro del círculo y presionar el botón izquierdo del Mouse cada vez que el círculo aparecía en la pantalla.

Además, se analizó el número de círculos que la persona requería para lograr hacer coincidir su respuesta con el estímulo después de un cambio en la trayectoria y la velocidad de desplazamiento (Tabla 2).

Material

1. Suplemento alimenticio.
2. Termómetro rectal: consistió en una sonda rectal que contenía un termistor marca Steriprobe 491B, conectada a un aparato que registra y almacena datos marca Mini-Logger 2000 (Minimitter, Co.). Con este dispositivo se almacenó la temperatura rectal de cada participante en grados Celsius con una tasa de muestreo de un minuto.
3. Termómetro ambiental. Registra la temperatura ambiental en grados Celsius.
4. Computadoras personales con monitor de 14". Estas computadoras se utilizaron para presentar los estímulos y registrar las tareas.

Procedimiento

Este estudio se realizó en tres etapas:

Primera etapa: selección de participantes.

En esta etapa se asistió a los salones de clases de turno matutino de primer semestre de la Licenciatura en Psicología para invitar a los estudiantes.

Los estudiantes que presentaron interés en participar en el estudio acudieron al laboratorio donde, de forma individual, recibieron la información completa sobre las condiciones y actividades del estudio. Luego de esto, los estudiantes que accedieron a participar firmaron una carta de aceptación y contestaron el cuestionario de datos generales, el cuestionario de antecedentes de riesgo de daño cerebral, la auto-evaluación de la fase circadiana y el cuestionario de trastornos del dormir. De acuerdo con la información obtenida en estos cuestionarios se seleccionaron los participantes que continuaron con el estudio. Los criterios de exclusión fueron: que presentara trastornos del dormir, que presentara antecedentes de posible daño cerebral, que

ingiriera fármacos que alteran el funcionamiento del sistema nervioso, y que realizara actividades programadas además de las clases en la Universidad.

Segunda etapa: registro de ciclo vigilia-sueño.

En la segunda etapa primero se aplicó un diario del dormir durante 2 semanas consecutivas, para tener un referente del ciclo de vigilia-sueño en condiciones libres, en su vida cotidiana, en donde los participantes reportaron la hora de acostarse a dormir y de despertarse, y si tomaron siestas.

Luego de esto, se pidió a los participantes que durmieran de forma regular de las 23:00 a las 7:00 h los cinco días previos al registro en el laboratorio, con el fin de regularizar su ciclo vigilia-sueño, para que asistieran al laboratorio en las mismas condiciones. Todos los participantes afirmaron haber cumplido con este requerimiento, además de que asistieron al laboratorio a las 8:30 h durante estos 5 días.

Además, los participantes contestaron el reporte de ingestión de alimentos en 2 ocasiones, en un día escolar y en uno de descanso.

Tercera etapa: registro en el laboratorio.

Los participantes se registraron durante 29 horas continuas mediante un protocolo de rutina constante, con el fin de observar los cambios durante el día en los componentes de las funciones ejecutivas, así como el ciclo circadiano de temperatura corporal (Duffy & Dijk, 2002). El propósito de este protocolo es controlar los factores que interfieren en la observación de las variaciones circadianas. Por tal motivo, en este estudio se mantuvo a los participantes en constante la exposición a la luz en máximo 5 lux; la temperatura ambiental fue de $24\pm 1^{\circ}\text{C}$; la posición corporal se mantuvo reclinada a 45° ; el nivel de actividad física fue en reposo, sólo se levantaron por breves periodos para ir al baño; tuvieron contacto social permanente, ya que siempre estuvo uno de los registradores en el cubículo; estuvieron en vigilia, no se les permitió dormir; y la alimentación se distribuyó en 17 porciones de 1/17 del 60% de la ingesta calórica diaria promedio del reporte de ingestión de alimentos (Figuras 6 y 7). Los participantes se mantenían

despiertos y activos durante la aplicación de las tareas, y en los periodos de descanso los registradores los mantenían despiertos conversando con ellos. En el caso de que el participante dejara de responder alguna tarea por un minuto continuo, se cancelaba su aplicación y se continuaba con la aplicación de la siguiente tarea.

Bajo estas condiciones se registró cada minuto la temperatura rectal con un termistor que almacenó la información durante todo el registro (minilogger). Además, cada 100 min, de las 10:20 h a las 16:00 h del día siguiente, se aplicaron las tareas donde se analizaron los indicadores de los componentes de las funciones ejecutivas: Stroop con criterio cambiante, tarea de seguimiento y tarea de mapas. Esta última tarea fue aplicada cada dos registros, es decir, a las 12:00, 15:20, 18:40, etc., con un total 9 aplicaciones. La distribución de la tarea de mapas se realizó con el fin de evitar que los participantes desarrollaran una estrategia de respuesta. La duración de 100 min por registro fue determinada por la duración de la aplicación completa de las tareas, de alrededor de 70 min, más 30 minutos de descanso entre las aplicaciones.

Los participantes acudieron al laboratorio durante la tarde del día previo al registro, con el fin de conocer las instrucciones de cada una de las tareas, así como realizar un registro de práctica.

Los participantes fueron citados en el laboratorio a las 8:30 h del día de registro, después de despertar a las 7:00 h en sus propias camas, de la misma forma que los 5 días previos. Al llegar al laboratorio, los participantes contestaron un diario del dormir, y luego se prepararon para el registro. Antes de iniciar, se verificaban las condiciones de iluminación (<5 lux) y temperatura (24 ± 1 °C) del cuarto, así como se medía la distancia de la pantalla, de tal forma que se ajustara a 60 cm de cada participante. También se programaba el aparato de almacenamiento de la temperatura y se verificaba que funcionara adecuadamente. Luego de tener todas las condiciones, alrededor de las 10:00 h, los participantes reposaban durante 20 min antes de iniciar el primer registro. Este primer registro se consideró como práctica de las tareas, por lo que para el estudio se analizaron los indicadores de las funciones ejecutivas a partir de las 12:00 h.

En los estudios de laboratorio de libre curso se considera que una variable presenta ritmos circadianos cuando se siguen observando cambios después de 3 días en condiciones constantes (Weitzman, Czeisler & Moore-Ede, 1979). Sin embargo, en otros estudios se han utilizado protocolos de poco más de 24 horas para estudiar ritmos circadianos (Carrier & Monk, 2000), ya que en estas condiciones se han encontrado cambios a lo largo del día claros y persistentes en variables fisiológicas como la temperatura corporal. Por lo tanto, los cambios en los componentes de las funciones ejecutivas presentados en esta tesis fueron considerados como variaciones circadianas.

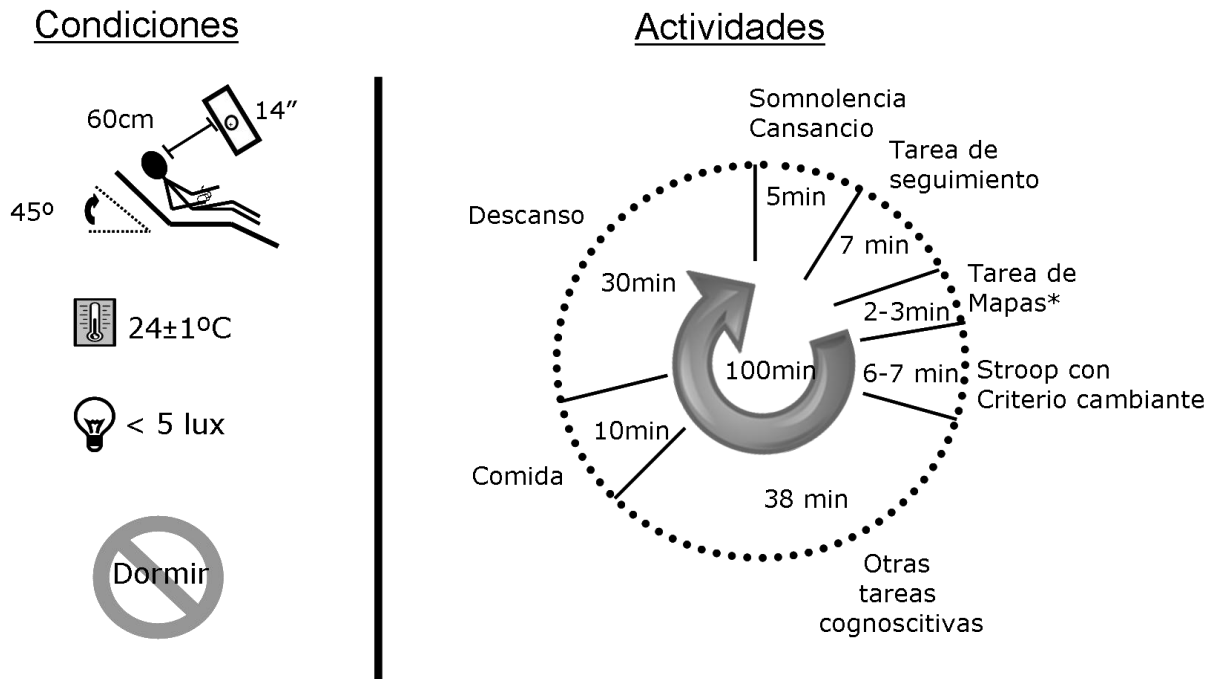


Figura 6. Protocolo de rutina constante. En la parte izquierda se presentan las condiciones en las que los participantes permanecieron por 29 horas continuas. En el lado derecho se presenta la secuencia de actividades que los participantes realizaron en cada bloque de registro (de 100 min de duración). En el descanso los participantes podían platicar con el registrador, escuchar música e ir al baño, en el caso de que lo requirieran. * La tarea de mapas se aplicó cada 2 registros.



Figura 7. Condiciones de registro en el laboratorio. Los participantes se mantuvieron recostados a 45° , frente a una computadora (60cm) donde se realizaron las tareas, en un cuarto asilado de luz, sonido y temperatura externa. En estas condiciones se controló la temperatura ambiental ($24 \pm 1^\circ\text{C}$), la exposición a la luz (máximo 5 lux), la alimentación, la actividad física y el contacto social.

Análisis de datos

Los datos del dormir en condiciones libres fueron obtenidos con el promedio de 2 semanas, tanto para la hora de acostarse, como la hora de despertarse y la duración del dormir.

Se obtuvo la mediana por hora de registro de los datos de temperatura rectal de cada participante; estos datos fueron suavizados con medias móviles de 3 puntos, y luego se aplicó la técnica cosinor simple con un periodo de 24 horas. Esta técnica determina el nivel de ajuste de los datos a una curva sinusoidal con un periodo determinado, en este caso de 24 h, y si la probabilidad de que la amplitud de esta curva sea cero (línea recta), es inferior a 5% ($p < 0.05$) (Minors & Waterhouse, 1988). Esta técnica no fue aplicada a las otras variables de esta tesis, debido a que éstas no presentaron un patrón sinusoidal.

Los datos de los reportes subjetivos de somnolencia y cansancio, así como los indicadores de los componentes de las funciones ejecutivas de cada participante fueron suavizados con medias móviles de 3 puntos, para luego

restar la tendencia lineal presentada a lo largo de la sesión de registro, de tal forma que se eliminara el efecto de la fatiga acumulada durante la sesión (Carrier & Monk, 2000). En estos datos se utilizó el análisis de varianza de muestras relacionadas no paramétrico (Friedman X^2) para estudiar diferencias a lo largo del día.

Después de esto, se utilizó la prueba de correlación cruzada (cross-correlation) para observar relaciones de fase entre las variaciones en los indicadores de los componentes de las funciones ejecutivas con el ritmo circadiano de temperatura corporal, es decir, identificar si las horas de mejor desempeño de estos indicadores y las horas de la mayor temperatura corporal son las mismas (Czeisler et al., 1999; Valdez et al., 2005). Debido a que los datos de los indicadores de las funciones ejecutivas fueron registrados cada 100 min, fue necesario hacer un prorrateo ponderado para cada indicador de cada participante, de tal forma que se determinó el nivel de ejecución relativo para cada hora del día. Luego de esto, para cada participante se obtuvieron los valores de correlación entre la temperatura rectal y los indicadores de las funciones ejecutivas a medida de que se desfasaba

una variable de la otra. Para calcular los valores grupales de correlación cruzada, los índices individuales de correlación (r) por cada fase se transformaron en unidades z de Fisher. Las unidades z se promediaron y luego se retransformó este promedio en valores r (Cajochen et al., 1999). La relación de fase entre la temperatura y los diferentes indicadores de los componentes de las funciones ejecutivas se obtuvo a partir del valor de correlación promedio más alto encontrado.

Para poder representar gráficamente la relación de fase entre la temperatura y los indicadores de los componentes de las funciones ejecutivas, los datos de los indicadores de cada participante fueron transformados en puntajes z y luego alineados con respecto a la batifase de la temperatura rectal de cada participante (fase circadiana 0), a partir de esto se obtuvo un promedio grupal.

Sólo se incluyeron 12 estudiantes para el análisis de los indicadores de la tarea Stroop, debido a que el nivel de ejecución de una participante (participante 13), fue por debajo del 80% de precisión en la actividad de nombrar colores durante todo el registro.

Para el análisis de la tarea de mapas se tomaron 11 participantes debido a que a 2 de los participantes (participantes 1 y 3) se les aplicaron diferentes versiones de mapas.

Por otro lado, 4 de los participantes presentaron un bajo nivel de ejecución en la tarea de seguimiento (Participantes 4, 6, 7 y 12), el cual fue por debajo del 20% de precisión al cuarto círculo durante todo el registro, por lo que 9 estudiantes fueron tomados para el análisis de los indicadores de esta tarea.

Capítulo 4: Resultados

Autoevaluación de la fase circadiana y ciclo de vigilia-sueño.

Once personas presentaron un cronotipo intermedio y dos participantes presentaron un cronotipo moderadamente trasnochador (puntaje inferior a 42), según la Autoevaluación de la fase circadiana (Horne & Ostberg, 1976) (Tabla 1).

En condiciones libres, los participantes durmieron en promedio de las 00:59±01:11 h a las 07:29±00:47 h, y durmieron un promedio de 6h30min±1h por noche (Tabla 1). Es importante recordar que en los participantes regularizaron su dormir de las 23:00 h a las 07:00 h los 5 días previos al registro.

Temperatura rectal y reportes subjetivos de somnolencia y cansancio

En este estudio se observaron ritmos circadianos en la temperatura rectal de los participantes (acrofase = $16:33h \pm 138min$, promedio \pm desviación estándar, porcentaje de ajuste = $83.21 \pm 11.05\%$, $p < 0.001$) (Tabla 3, Figura 8 y 9A).

Los participantes presentaron diferencias a lo largo del día tanto en su nivel de somnolencia (Friedman = 67.22, $p < 0.001$) como en el de cansancio (Friedman = 56.93, $p < 0.001$) (Tabla 4, Figura 9B y 9C). Además de esto, en el análisis de correlación cruzada se encontró que, en promedio, la somnolencia y el cansancio ocurrieron en fase 0 con la temperatura rectal (somnolencia: más alto promedio de $r = -0.68$, $p < 0.001$; cansancio: más alto promedio de $r = -0.61$, $p < 0.001$) (Tabla 4). Esto quiere decir que las personas reportaron su mayor somnolencia y cansancio cuando la temperatura se encontraba en su punto más bajo.

Para corroborar esta relación de fase, se alinearon los datos de somnolencia y cansancio de cada participante con respecto a su propia batifase de temperatura, la cual

se tomo como 0 (cero), para luego obtener un promedio grupal. Este análisis se presenta en la Figura 13, donde se puede observar que tanto la somnolencia como el cansancio alcanzaron su valor más alto en el punto más bajo de la temperatura rectal (Figura 13B y 13C).

Tabla 1. Sexo, edad, cronotipo y ciclo de vigilia-sueño de los participantes de este estudio, así como las fechas en las que fueron registrados.

	Sexo	Edad	Dormir			AFC
			Inicio (h:min)	Terminación (h:min)	Duración	
1	2	26	02:59	08:20	5h21min	45
2	2	17	01:30	07:01	5h31min	46
3	1	18	00:40	06:51	6h12min	52
4	1	18	01:10	08:15	7h06min	41
5	2	19	00:43	06:43	6h01min	56
6	1	17	01:32	06:36	5h04min	36
7	1	18	23:54	07:33	7h39min	50
8	1	17	02:50	09:17	6h28min	45
9	1	18	00:37	06:46	6h17min	48
10	1	18	22:29	07:15	8h46min	49
11	1	17	00:19	07:23	6h58min	50
12	1	18	00:24	07:19	6h56min	50
13	1	17	01:36	07:48	6h13min	43
Promedio		18.31	00:59	07:29	6h30min	47.00
D.E.		2.39	1h11min	47min	1h00min	5.16

Sexo: 1 = femenino, 2 = masculino; AFC, Autoevaluación de la Fase Circadiana con la cual se registra el cronotipo de las personas: puntajes bajos, trasnochador y puntajes altos, madrugador; D.E.: Desviación Estándar. Los valores del inicio y la terminación del dormir están expresados en hora del día.

Componentes de las funciones ejecutivas

Variaciones circadianas en la inhibición

En la lectura de las palabras de la tarea Stroop se encontraron variaciones significativas a lo largo del día tanto en la precisión (respuestas correctas, Friedman = 26.92, $p < 0.05$) como en el tiempo de ejecución (Friedman = 51.82, $p < 0.001$), se encontró un aumento en la eficiencia durante la tarde, y una disminución durante la madrugada (Figura 10B y 10C). La fase del tiempo de ejecución se presentó una hora antes de la fase de temperatura rectal (más alto promedio de $r = -0.53$, $p < 0.01$) (Tabla 4, Figura 13). Es decir, el momento en el día en el que las personas tardaron más tiempo en leer las palabras de la tarea Stroop se presentó una hora antes de la batifase de temperatura rectal.

En cuanto a los indicadores de inhibición, en la actividad de nombrar los colores, se encontraron variaciones a lo largo del día en la precisión (errores de leer Friedman = 31.43, $p < 0.01$) y en el tiempo de ejecución (Friedman = 70.78, $p < 0.001$); durante la tarde se presentó la mayor eficiencia para nombrar colores

(mayor porcentaje de respuestas correctas promedio, $97.03 \pm 1.52\%$; menor tiempo de ejecución promedio, 42.85 ± 2.78 seg) y durante la madrugada se presentó la más baja eficiencia en esta actividad (menor porcentaje de respuestas correctas promedio, $94.67 \pm 2.14\%$; tiempo de ejecución promedio más lento, 48.94 ± 4.69 seg) (Figura 10D y 10E).

Además de esto, los resultados de la correlación cruzada mostraron que en promedio tanto la precisión (más alto promedio de $r = -0.43$, $p < 0.05$) como el tiempo de ejecución (más alto promedio de $r = -0.53$, $p < 0.01$) presentaron su fase al mismo tiempo que la fase de la temperatura rectal (Tabla 4). Esto significa que cuando la temperatura llegó a su punto más bajo, también disminuyó la capacidad de las personas para inhibir su comportamiento.

Estos resultados se observaron de la misma forma al alinear los datos de los indicadores de inhibición con respecto a la temperatura rectal (batifase de temperatura = 0) para cada participante y luego obtener un promedio grupal. En la figura 13 se puede apreciar la relación de fase 0 de los indicadores de la inhibición con la temperatura rectal (Figura 13E y 13H).

Tabla 3. Ajuste de la temperatura rectal de cada participante a una curva sinusoidal con un periodo de 24 h.

Participante	Mesor (°C)	Amplitud (°C)	Acrofase (hora del día)	Ajuste sinusoidal (%R)	
1	36.67	0.30	16:57	77.05	***
2	36.91	0.25	16:40	82.63	***
3	37.20	0.14	13:43	84.07	***
4	36.90	0.09	15:43	62.71	***
5	36.63	0.26	21:15	95.18	***
6	36.36	0.27	20:04	93.65	***
7	37.10	0.17	16:46	75.06	***
8	36.96	0.28	18:47	79.97	***
9	36.42	0.15	13:34	84.55	***
10	37.02	0.19	15:50	65.06	***
11	36.97	0.18	16:40	94.62	***
12	36.71	0.23	17:10	93.28	***
13	36.56	0.45	14:31	93.88	***
Promedio	36.80	0.23	16:33	83.21	
D.E.	0.26	0.09	138 min	11.05	

*** $p < 0.001$

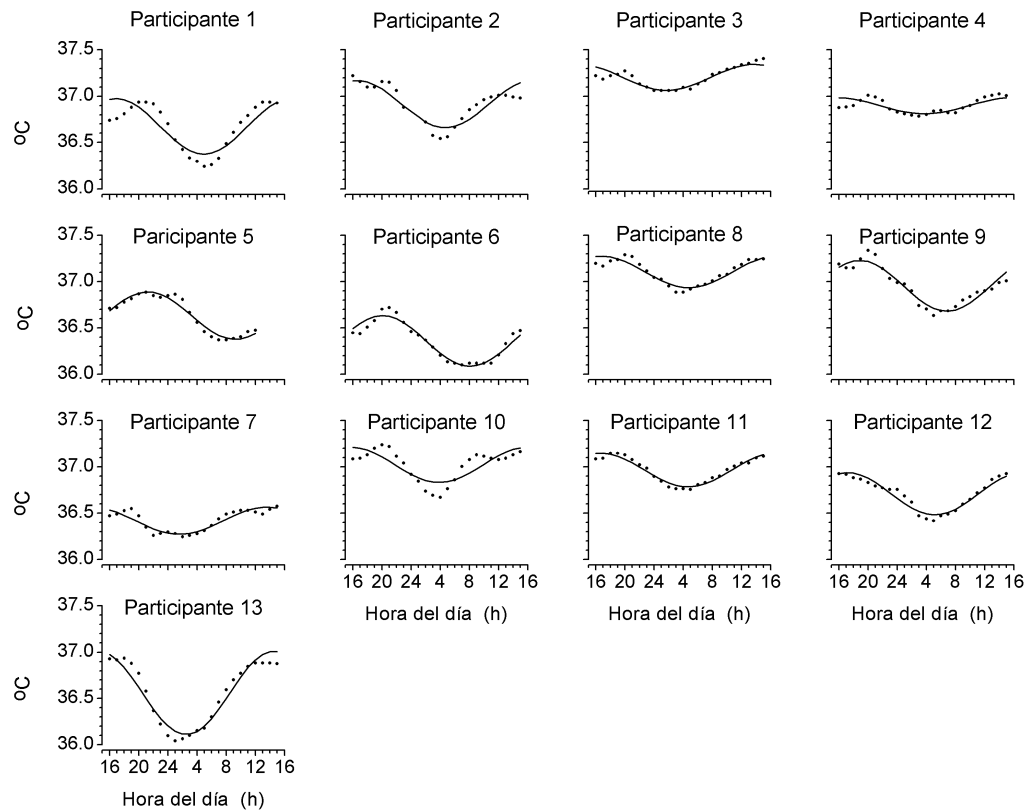


Figura 8. Variaciones circadianas en la temperatura rectal de cada participante. Cada punto representa la mediana por hora de los datos de temperatura rectal, mientras que la línea continua representa la curva sinusoidal de 24 h de mejor ajuste a estos datos. Todos los participantes presentaron un ajuste significativo de su temperatura a una curva de 24 h.

Variaciones circadianas en la flexibilidad

En cuanto a la actividad de criterio cambiante de la tarea Stroop, indicador de flexibilidad, se encontraron diferencias significativas a lo largo del día tanto en la precisión (respuestas correctas en cambio, Friedman = 41.57, $p < 0.001$) como en el tiempo de ejecución (Friedman = 36.77, $p < 0.001$); la mejor ejecución en esta actividad se presentó durante la tarde (mayor porcentaje de respuestas correctas promedio, 95.23 ± 1.41 %; menor tiempo de ejecución promedio, 51.06 ± 2.26 seg), mientras que en la madrugada se presentó la eficiencia para responder más baja (menor porcentaje de respuestas correctas promedio, 92.76 ± 1.53 %; mayor tiempo de ejecución promedio, 56.10 ± 5.21 seg) (Figura 10F y 10G).

Además, en el análisis de correlación cruzada se encontró un retraso de fase de dos horas en promedio con respecto a la fase de la temperatura rectal para la precisión (más alto promedio de $r = 0.45$, $p < 0.05$) y de una hora para el tiempo de ejecución (más alto promedio de $r = -0.34$, $p = 0.06$) de la actividad de criterio cambiante (Tabla 4).

Con esto, se observó el tiempo de ejecución más lento para cambiar de un criterio a otro una hora después del punto más bajo en la temperatura rectal, y la precisión en esta actividad llegó a su punto más bajo dos horas después de la batifase de la temperatura rectal. Así, la capacidad de flexibilidad disminuye 1-2 horas después de la disminución en la temperatura rectal.

Estos resultados se corroboraron al alinear los datos de los indicadores de flexibilidad con respecto a la batifase de temperatura (fase 0), ya que se observó un retraso de fase en la precisión en la sección de criterio cambiante de la tarea Stroop (Figura 13F y 13I).

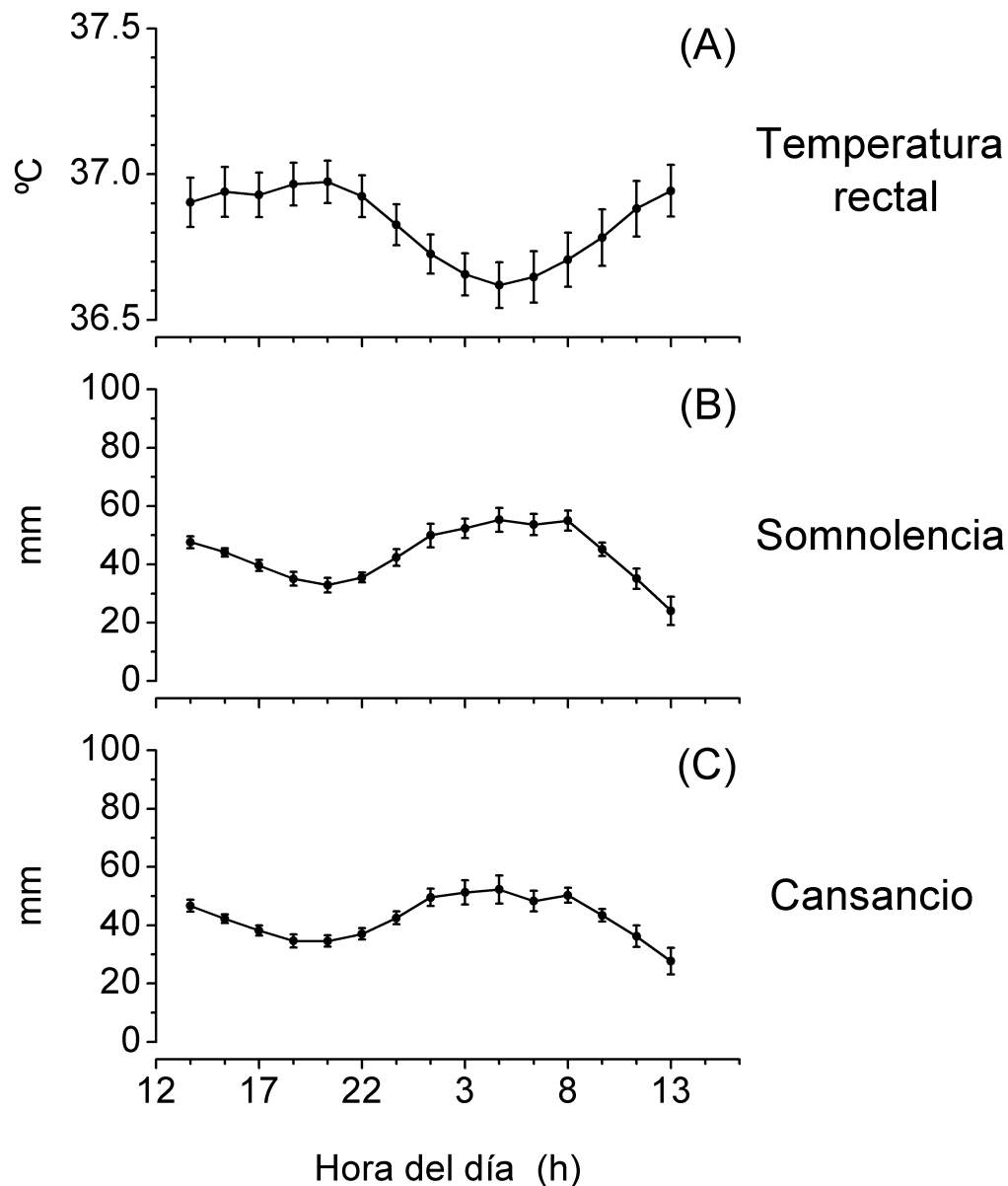


Figura 9. Variaciones circadianas en (A) la temperatura rectal y los reportes subjetivos de (B) somnolencia y (C) cansancio. Los puntos representan el promedio grupal por registro para cada variable, y las líneas verticales el error estándar de la media. A los datos sin tendencia lineal de somnolencia y cansancio se les sumó el promedio grupal para tener un referente del nivel de ejecución real de los participantes.

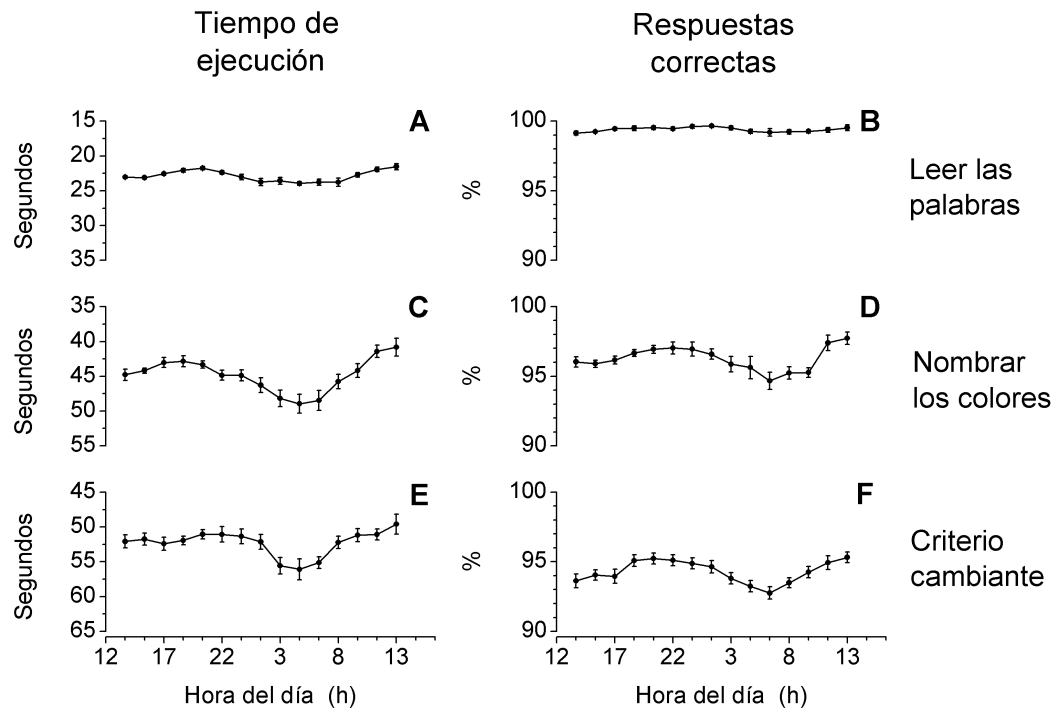


Figura 10. Variaciones circadianas en los indicadores de (C-D) inhibición (nombrar los colores) y (E-F) flexibilidad (criterio cambiante) de la tarea Stroop. A los datos sin tendencia lineal de cada indicador se les sumó el promedio grupal para tener un referente del nivel de ejecución real de los participantes.

Variaciones circadianas en la previsión

Se encontraron diferencias significativas entre la cantidad de números alcanzados sin error en cada mapa durante el registro de rutina constante (Friedman = 28.25, $p < 0.001$). Sin embargo, a diferencia de las otras tareas, el nivel de dificultad de esta tarea puede ser variable, ya que es una tarea inestructurada y su resolución depende de la forma en que responde cada participante.

Debido a esto, para corroborar que las diferencias observadas fueron debidas a variaciones circadianas en el componente de previsión, fue necesario aplicar los mapas a 11 personas del mismo género y edad que los participantes de este estudio. Las personas del grupo apareado contestaron los mapas en el mismo orden, pero durante la tarde, entre las 14:00 y las 18:00 h.

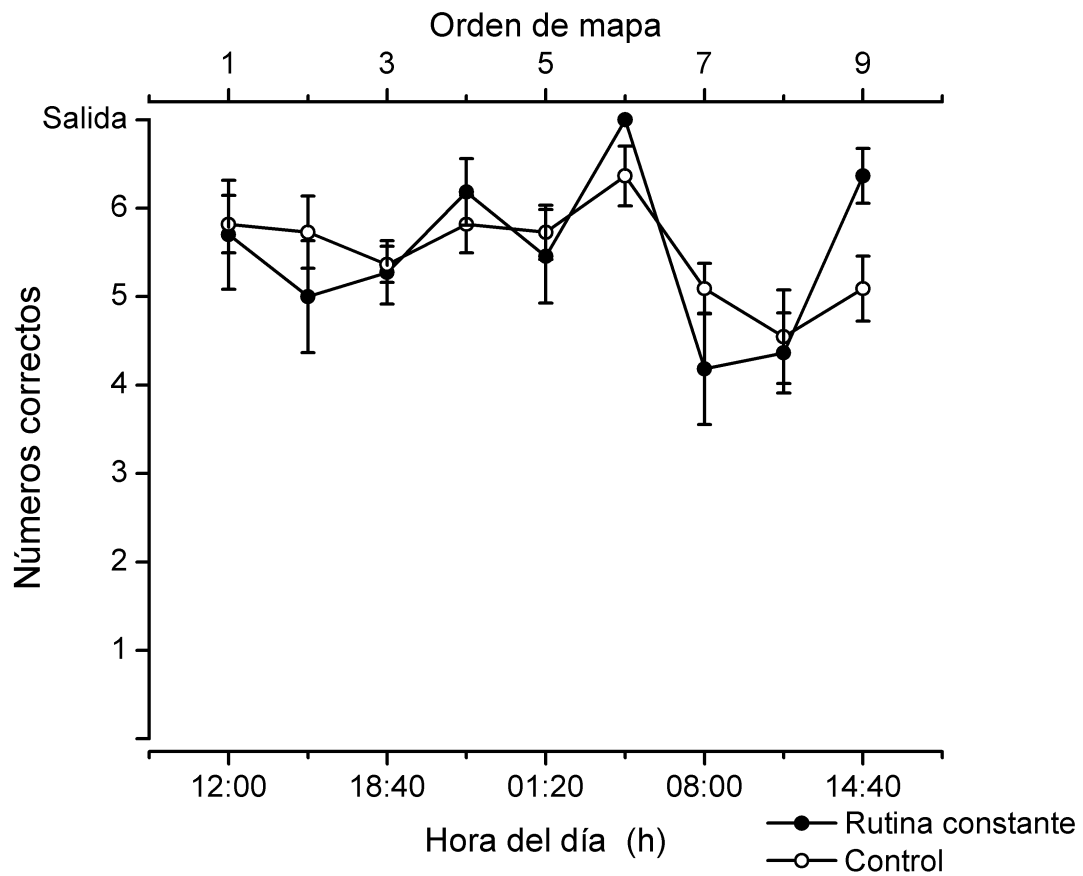


Figura 11. Eficiencia para responder los mapas de los participantes de rutina constante (círculos negros) y de un grupo control (misma edad y género) (círculos blancos), quienes los contestaron en el mismo orden pero en las horas de la tarde. Se presentaron diferencias significativas al comparar las 9 versiones de los mapas tanto para el grupo de rutina constante, como para el grupo apareado.

Del mismo modo que con el grupo de rutina constante, se encontraron diferencias significativas entre los números alcanzados sin error de cada versión de los mapas en el grupo apareado (Friedman = 15.26, $p < 0.05$). Además, estos participantes presentaron una ejecución similar a los del grupo de rutina constante (Figura 11). Con estos resultados, todo parece indicar que las diferencias observadas entre las aplicaciones del grupo de rutina constante son debidas a discrepancias en el nivel de dificultad de cada versión de los mapas y no a la presencia de ritmos circadianos en la previsión.

Variaciones circadianas en el auto-monitoreo

Durante la noche y temprano en la mañana, los participantes mostraron un aumento en el número de círculos requeridos para ajustarse después de un cambio (Friedman = 24.04, $p < 0.05$). Durante la tarde, los participantes requirieron 4.31 ± 1.11 círculos en promedio para ajustarse después del cambio, mientras que en la madrugada y temprano en la mañana requirieron 5.50 ± 1.31 círculos en promedio para lograr ajustarse (Figura 12C).

Así mismo, al analizar la eficiencia para responder ante los primeros círculos después de los cambios de trayectoria, se observó que la eficiencia para responder ante el primer círculo fue de 0% a cualquier hora del día, con latencias para responder de 396.64 ± 18.92 ms durante la tarde, y de 437.05 ± 23.94 ms durante la noche (Friedman = 28.48, $p < 0.05$) (Figura 12D y 12E). Por otro lado, durante la tarde, los participantes presentaron su mejor ajuste al cuarto círculo, con un aumento en la precisión (30.21 ± 6.54 % respuestas correctas), así como la menor latencia para responder (mediana más rápida: 183.50 ± 35.94 ms). Mientras que en la madrugada y

temprano en la mañana se presentó el peor ajuste al cuarto círculo después de cambio de trayectoria, con una disminución en la precisión (17.12 ± 5.93 % respuestas correctas) (Friedman = 46.23, $p < 0.001$) y una mayor latencia para responder (mediana más lenta: 251.16 ± 43.96 ms) (Friedman = 46.41, $p < 0.001$) (Figura 12D y 12E).

Al analizar la relación de fase promedio entre los indicadores de la tarea de seguimiento y la temperatura corporal con una correlación cruzada, se encontró que el tiempo para responder al primer círculo después del cambio, indicador de la atención, presentó una fase similar a la fase de la temperatura corporal (más alto promedio de $r = -0.54$, $p < 0.001$), es decir, los valores mínimos de ambas variables se presentaron a la misma hora del día (Tabla 4). Por otro lado, los indicadores del ajuste a los cambios presentaron un retraso de fase de 3 horas con respecto a la fase de la temperatura para los círculos requeridos para ajustarse después del cambio (más alto promedio de $r = -0.47$, $p < 0.05$) y para las respuestas correctas al cuarto círculo (más alto promedio de $r = 0.50$, $p < 0.01$), y de 4 horas para la latencia para responder al cuarto círculo (más alto promedio de r

= -0.43, $p < 0.05$) (Tabla 4). Este retraso de fase se confirmó al alinear los datos de los indicadores del ajuste a los cambios con respecto a la batifase de temperatura, ya que se observó un claro desfase entre el tiempo y las respuestas correctas al cuarto círculo después de un cambio, así como de la cantidad de círculos requeridos para ajustarse a los cambios (Figura 13J, 13K y 13L).

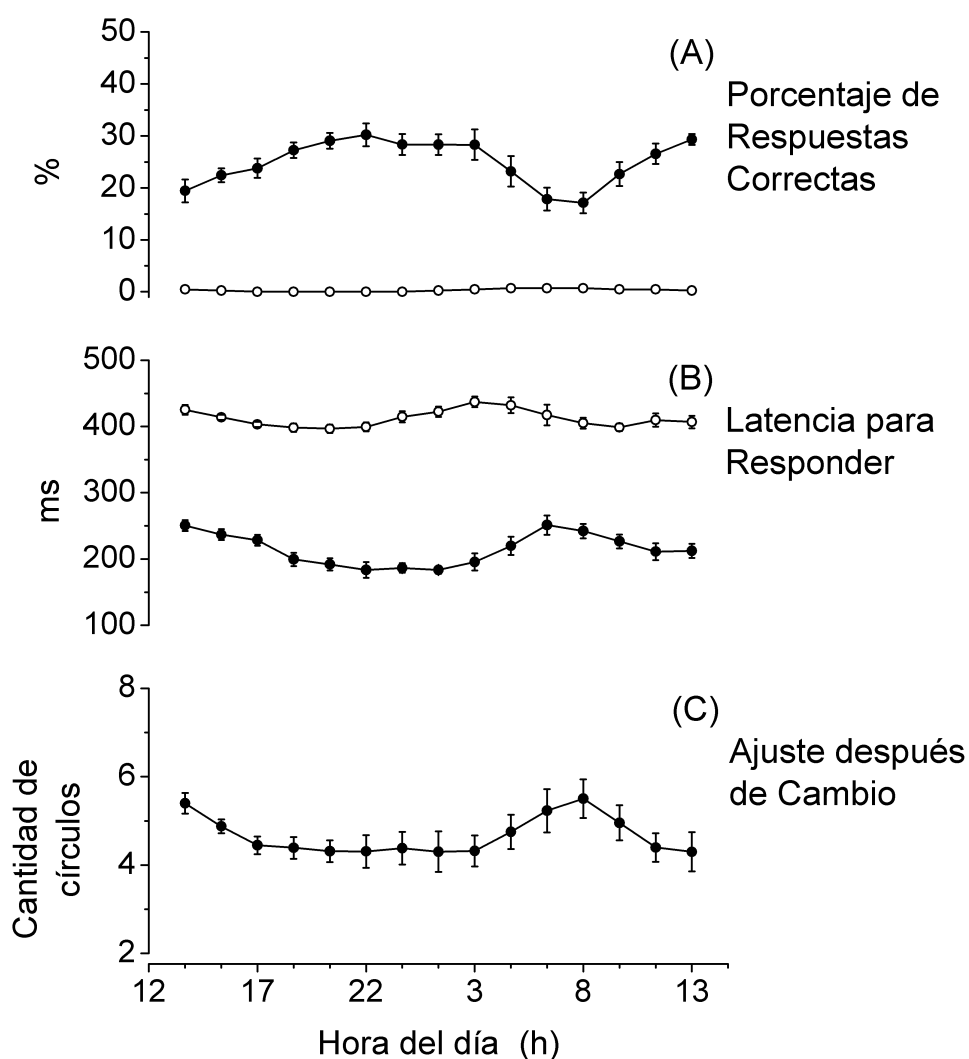


Figura 12. Variaciones circadianas en la capacidad de las personas a ajustarse a los cambios de una tarea de seguimiento. Durante la madrugada y temprano en la mañana (4:40 - 8:00 h) las personas: (A) presentaron un menor porcentaje de respuestas correctas al cuarto círculo después del cambio, (B) presentaron una mayor latencia para responder al cuarto círculo después del cambio; y (C) requirieron más círculos para ajustarse a los cambios. A los datos sin tendencia lineal de cada indicador se les sumó el promedio grupal para tener un referente del nivel de ejecución real de los participantes.

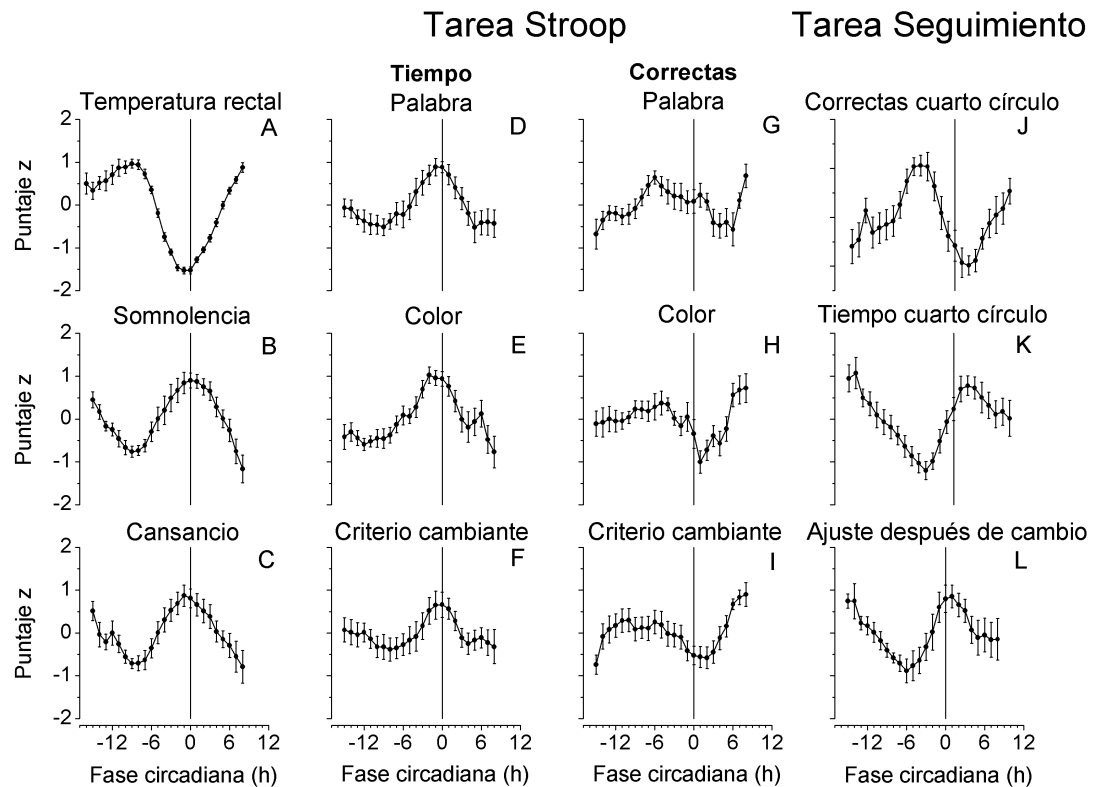


Figura 13. Cambios en la somnolencia, el cansancio y los componentes de las funciones ejecutivas en función de la fase de temperatura rectal (fase circadiana). Los datos individuales se alinearon tomando como hora 0 la batifase de temperatura rectal, de (B) la somnolencia, (C) el cansancio, (D y G) el tiempo y las respuestas correctas de las secciones de leer las palabras, (E y H) nombrar los colores (indicadores de inhibición) y (F e I) de criterio cambiante (indicadores de flexibilidad) de la Tarea Stroop, así como del (J y K) tiempo y las respuestas correctas al cuarto círculo después de un cambio de trayectoria y (L) la cantidad de círculos necesarios para ajustarse después de un cambio de trayectoria (indicadores de auto-monitoreo) de la tarea de seguimiento. Los círculos representan el promedio \pm error estándar de los puntajes z individuales para cada variable.

Tabla 4. Análisis estadísticos de la medida fisiológica y las medidas subjetivas, así como de los índices de inhibición (nombrar colores) y flexibilidad (criterio cambiante) en la tarea Stroop, y los índices de ajuste a los cambios (parte del auto-monitoreo) en la tarea de seguimiento.

		Datos brutos (Friedman)	Regresión lineal (en la sesión)	Datos sin tendencia lineal (Friedman)	Correlación cruzada con temperatura rectal	
					r	Desfase (h)
Medida fisiológica	Temperatura rectal	101.79 ***	-0.30			
Medidas subjetivas	Somnolencia	138.64 ***	0.89 ***	67.22 ***	-0.68 ***	0
	Cansancio	146.58 ***	0.93 ***	56.93 ***	-0.61 ***	0
Tarea Stroop						
Leer palabras	Correctas	31.86 **	-0.39	26.92 *	NS	
	Tiempo	56.16 ***	0.50 *	51.82 ***	-0.53 **	0
Nombrar colores	Correctas totales	41.03 ***	-0.47 *	31.44 **	0.38 *	2
	Errores de leer	51.05 ***	0.51 *	31.43 **	-0.43 *	0
	Tiempo	117.95 ***	0.75 ***	70.78 ***	-0.53 **	0
Criterios cambiantes (leer – nombrar colores)	Correctas totales	27.55 *	-0.07	44.03 ***	0.42 *	1
	Correctas en cambio	35.64 **	-0.11	41.57 ***	0.45 *	2
	Tiempo	41.17 ***	0.46 *	36.77 ***	-0.34 ^a	1
Tarea de seguimiento						
Primer círculo después de cambio	Correctas	17.81	0.15			
	Tiempo	28.48 *	0.29	25.28 *	-0.54 ***	0
Cuarto círculo después de cambio	Correctas	67.44 ***	-0.65 **	46.23 ***	0.50 **	3
	Tiempo	54.75 ***	0.59 **	46.41 ***	-0.43 *	4
Ajuste después de cambio de trayectoria	Círculos requeridos (3 aciertos consecutivos)	24.04 *	0.33	19.52	-0.47 *	3

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, ^a $p=0.06$. En el análisis de correlación cruzada, los valores de desfase positivos indican un retraso de fase con respecto a la fase de temperatura rectal.

Capítulo 5: Discusión

En este capítulo se analizarán los resultados de cada uno de los componentes de las funciones ejecutivas estudiados en esta tesis, para luego discutir las implicaciones teóricas, metodológicas y aplicadas de dichos resultados. Además, se revisarán las hipótesis de esta tesis en función de los resultados encontrados.

En este estudio se observaron ritmos circadianos en el componente de inhibición, ya que aumentó la capacidad para responder en la tarea de nombrar colores durante la tarde, y disminuyó durante la madrugada. La inhibición es la capacidad de bloquear comportamientos inadecuados, por lo que las variaciones durante el día observadas en esta tesis sugieren que durante la madrugada las personas no serán capaces de inhibir su comportamiento eficientemente.

Además, se encontró que la inhibición se encontró en fase 0 con la temperatura rectal, ya que ambas disminuyeron en las horas de la madrugada. Esto puede ser debido a que el reloj biológico ejerza una influencia cíclica sobre el metabolismo de estructuras cerebrales

específicas, que son más sensibles a estos cambios (Kleitman, 1963). Este puede ser el caso de las estructuras cerebrales implicadas en la inhibición (área dorsolateral del prefrontal).

Estos resultados no concuerdan con los resultados encontrados en estudios previos, ya que en esos estudios se observó una disminución de la capacidad para inhibir en las horas de la tarde, o no se encontraron variaciones circadianas. Esto puede ser debido a que en dichos estudios utilizaron una tarea de respuesta - no respuesta (Harrison *et al.*, 2007; Manly *et al.*, 2002), en la cual el aumento en la cantidad de omisiones ante un estímulo específico es considerado como un aumento en la capacidad de inhibir. Sin embargo, este aumento en las omisiones puede ser confundido con una disminución en la alerta tónica, con lo que esta tarea es un indicador poco confiable de la inhibición. Por otro lado, dos de esos estudios utilizaron un protocolo de hora del día (Manly *et al.*, 2002; Hartley & Shirley, 1976), en el cual los participantes continuaron con sus actividades cotidianas, por lo que las diferencias registradas a lo largo del día pudieron deberse a otros factores, por ejemplo, a que los participantes tuvieran distintas características de su

ciclo de vigilia-sueño o fases del ritmo circadiano, a que durmieran menos o más horas, a las actividades realizadas antes de responder las tareas, o a las condiciones ambientales de iluminación o ruido en que las contestaron. A diferencia de esos estudios, en esta tesis se utilizaron indicadores específicos de la tarea Stroop en un protocolo de rutina constante, por lo que fue posible que estas condiciones permitieran observar las variaciones circadianas en la capacidad para inhibir.

El hecho de que disminuya la capacidad de inhibir de las personas durante la madrugada tiene implicaciones en su vida cotidiana, ya que a estas horas del día la persona no será capaz de bloquear eficientemente respuestas inadecuadas. Debido a esto, la persona puede presentar errores graves o incluso fatales dentro del campo laboral, al no tomar en cuenta situaciones extraordinarias, donde su ejecución común es inadecuada, como fallas en la maquinaria, o condiciones adversas para el manejo, como lluvia, neblina o hielo en el camino al conducir cualquier tipo de transporte.

Por otro lado, también se observaron variaciones circadianas en la flexibilidad, ya que los participantes

presentaron un aumento en la eficiencia para responder en las actividades de criterio cambiante de la tarea Stroop durante la tarde, y luego disminuyó dicha eficiencia en las horas de la madrugada y temprano en la mañana. La flexibilidad se refiere a la capacidad de las personas para cambiar de respuesta según las demandas cambiantes del ambiente, por lo que durante la madrugada las personas podrían presentar un comportamiento perseverante, es decir, que continúen respondiendo de la misma manera aún y cuando esta respuesta sea inadecuada.

Además de esto, la velocidad para responder en la tarea de flexibilidad presentó en promedio su punto más bajo 1 hora después y la capacidad de precisión 2 horas después del punto más bajo de la temperatura rectal. Esto puede ser debido a que el metabolismo no sea el factor principal del que depende el funcionamiento de las estructuras cerebrales responsables de la flexibilidad, ya que éstas pueden seguir funcionando adecuadamente después de que disminuye la temperatura. Sin embargo, estas estructuras presentan una influencia del reloj biológico, ya que aumentan y disminuyen su funcionamiento a lo largo del día, lo cual se observa en la capacidad para ser flexible.

En el estudio realizado por Bratzke *et al.* (2009), donde se analizó el cambio entre tareas, considerado como un indicador de la flexibilidad, se observaron variaciones circadianas similares a las de este estudio de tesis; en ambos estudios se observó una disminución en la capacidad de este componente durante la madrugada y temprano en la mañana (Bratzke *et al.*, 2009). Sin embargo, en dicho estudio no se analizó la relación de la flexibilidad con la temperatura corporal, por lo cual una aportación de esta tesis es que la flexibilidad disminuye después del punto más bajo de la temperatura corporal.

Con estos resultados, se puede esperar que las personas tengan dificultades durante la madrugada y temprano en la mañana para ajustar su comportamiento cuando presentan respuestas específicas ante estímulos específicos y, en un momento dado, estas respuestas dejan de ser adecuadas, por lo que tienen que cambiar su manera de responder. Con esto, la persona puede tener graves problemas al enfrentar alguna contingencia inesperada en su trabajo, o si al conducir un automóvil, se presentan situaciones como caminos cerrados o accidentes automovilísticos, ante las cuales tenga que responder de forma diferente.

En esta tesis no fue posible determinar la presencia de variaciones circadianas en la previsión. Sin embargo, los resultados de esta tesis no descartan la presencia de ritmos circadianos en este componente de las funciones ejecutivas, ya que la aplicación de un solo mapa por registro fue insuficiente, con lo que fue difícil controlar el nivel de dificultad en esta tarea.

Blatter *et al.* (2005) tampoco pudieron determinar si se presentaban variaciones circadianas en la ejecución de una tarea de laberintos, que se considera un indicador de la previsión. Tanto en el estudio de Blatter *et al.* como en esta tesis se presentaron problemas metodológicos. En el estudio de Blatter *et al.*, no fue posible observar indicadores claros de la previsión, debido a que la tarea de laberintos puede ser resuelta con una estrategia de respuesta específica, previsualizar los callejones sin salida y elegir el único camino disponible. Mientras que en esta tesis, donde se utilizó una tarea de mapas, no fue posible controlar el nivel de dificultad, a pesar de que los mapas son un mejor indicador de este componente de las funciones ejecutivas, ya que presentan una situación inestructurada, donde las personas deben

organizar su respuesta para evitar utilizar el mismo camino dos veces. Debido a esto, es necesario diseñar estrategias de medición de la previsión que sean más eficientes para evaluar este componente. Esto se podría conseguir al aplicar una mayor cantidad de mapas por registro en cada hora del día, de tal forma que las diferencias presentadas por cada mapa se disminuyan al tomar un promedio de la ejecución. Por tal motivo, será necesario continuar explorando esta tarea para determinar qué factores de su diseño son cruciales para evaluar su dificultad; aún y cuando es una tarea inestructurada. Algunos factores específicos que se podrían considerar son la posición de los números finales, así como el espacio disponible entre los números.

Se encontraron variaciones circadianas en los indicadores del ajuste del comportamiento a los cambios en el ambiente, considerado como una parte importante del auto-monitoreo. Se observó que la capacidad para ajustarse a los cambios presenta una mayor eficiencia durante la tarde y una disminución en la eficiencia durante la madrugada y temprano en la mañana. El auto-monitoreo es la capacidad de supervisar el propio

comportamiento, así como los resultados de este comportamiento, por lo que, durante la madrugada y temprano en la mañana las personas podrían presentar dificultades para ajustar su comportamiento eficientemente al ambiente.

Además de esto, el ajuste a los cambios presentó en promedio una fase de 3 a 4 horas más tarde que la fase de temperatura. Entonces, en este componente, de forma similar que en la flexibilidad, se presenta un efecto de retardo, donde primero disminuye el metabolismo corporal, mientras que la capacidad para ajustarse a los cambios continúa funcionando eficientemente y, de 3 a 4 horas después se presenta la peor capacidad para ajustarse a los cambios.

Estos resultados coinciden con los encontrados en estudios anteriores donde se analizó de manera general la eficiencia para responder a tareas de seguimiento (Buck, 1977; Goh et al., 2001; Mullaney et al., 1983; van Eekelen & Kerkhof, 2003). Sin embargo, en esta tesis se analizó de forma específica la capacidad de ajustar el comportamiento ante cambios en el ambiente.

La capacidad de ajustarse a los cambios es crucial para verificar y corregir nuestras acciones, por lo que

la disminución en esta función nos hace más vulnerables a cometer errores; además, hace más probable que los errores no se corrijan con la eficiencia y velocidad que se necesita, por lo que pueden convertirse en situaciones de peligro o en accidentes graves. Esto puede ser un factor de riesgo importante en el trabajo nocturno, sobre todo al desempeñar actividades que implican el manejo de maquinaria pesada o al conducir vehículos de transporte, operaciones que se llevan a cabo en situaciones variables y que requieren respuestas rápidas y precisas.

Con respecto a la primera hipótesis de esta tesis, donde se afirma que los componentes de las funciones ejecutivas presentan ritmos circadianos, los resultados de esta tesis permitieron comprobar que se presentan variaciones circadianas en 3 componentes de las funciones ejecutivas: inhibición, flexibilidad y auto-monitoreo. Mientras que no se tienen elementos suficientes para poder afirmar si el componente de previsión presenta variaciones circadianas.

Por otro lado, con respecto a la segunda hipótesis de esta tesis, donde se plantea que todos los ritmos circadianos de los componentes de las funciones

ejecutivas presentan una fase al mismo tiempo que la fase del ritmo circadiano de la temperatura corporal, se encontró que los 3 componentes que presentaron variaciones circadianas presentaron una relación de fase con la temperatura corporal. Sin embargo, sólo la inhibición presentó su fase al mismo tiempo que la fase de la temperatura; la flexibilidad presentó su fase 1 hora después en el tiempo de ejecución y de 2 horas después en la precisión, con respecto a la fase de temperatura; y el ajuste a los cambios (auto-monitoreo), presentó su fase 3 horas después de la fase de temperatura para el número de círculos requeridos para ajustarse, y de 4 horas para el tiempo de respuesta al cuarto círculo después del cambio. Entonces, durante la noche, en primer lugar disminuyó la temperatura corporal y la inhibición, 1-2 horas después disminuyó la flexibilidad y otras 2 horas después la capacidad para ajustarse a los cambios (auto-monitoreo). Es importante recordar que los resultados obtenidos sobre la relación de fase entre la temperatura y los componentes de las funciones ejecutivas representan la correlación promedio más alta del grupo de participantes registrados.

Para poder entender estos resultados debemos tomar en cuenta que los componentes de las funciones ejecutivas dependen de la actividad del lóbulo frontal. Esta región del cerebro, como el resto del organismo, es sensible a los cambios en el metabolismo corporal. Sin embargo, los resultados de este estudio no coinciden del todo con la hipótesis de Kleitman (1963), ya que los ritmos circadianos en el metabolismo, observados aquí con los cambios en la temperatura rectal, sucedieron 1-2 horas antes de los ritmos observados en los indicadores de flexibilidad y 3-4 horas antes de las variaciones en los indicadores del ajuste a los cambios. Así que, los mecanismos que podrían afectar el lóbulo frontal de manera cíclica a lo largo del día, no son aún claros. Es posible que el metabolismo afecte directamente estructuras cerebrales como la formación reticular, relacionada con la atención, y el área dorsal del prefrontal, que se relaciona con la inhibición, y que luego de esto sean afectadas otras estructuras cerebrales como el área prefrontal medial (giro anterior del cíngulo), que ha sido relacionada con el auto-monitoreo (Stuss & Alexander, 2000; Fassbender *et al.*, 2004; Garavan *et al.*, 2002).

Debido a que se han encontrado variaciones circadianas en otros procesos básicos como los componentes de la atención (Valdez *et al.*, 2005; Valdez, Ramírez, García, Talamantes & Cortez, 2010) y los componentes fonológico y visoespacial de la memoria de trabajo (Ramírez *et al.*, 2006), en estudios futuros será importante analizar la interacción de estos procesos y sus cambios a lo largo del día, así como su relación con el metabolismo corporal, lo cual permitirá entender mejor el papel del reloj biológico en el comportamiento humano (Valdez, 2009).

Una limitación de esta tesis fue que la mayor parte de los participantes de este estudio fueron adolescentes, ya que en este grupo de edad se observa un retraso en la fase del ciclo de vigilia-sueño (Andrade, Benedito-Silva, Domenice, Arnhold & Menna-Barreto, 1993; García, Cortez, Juárez, Ramírez & Valdez, 2009; Valdez *et al.*, 1996); sin embargo, el período de los ritmos circadianos es similar al de los adultos (Carskadon, Labyak, Acebo & Seifer, 1999). Por lo tanto, lo más probable es que los ritmos que se observaron en este estudio estén presentes también en los adultos. Además, en el grupo registrado en este estudio, se presentó una excepción en la edad, ya que se

registró un participante de 26 años que cursaba el primer semestre. A pesar de que este participante presentó un patrón similar tanto en las variaciones a lo largo del día como en la relación de fase entre los componentes de las funciones ejecutivas y la temperatura rectal, es importante estudiar en un futuro un grupo de personas de esta edad para observar directamente sus ritmos circadianos en los componentes de las funciones ejecutivas.

Otra limitación de este estudio fue el número reducido de hombres. Así, será relevante en un futuro realizar estudios con más personas del género masculino, para analizar si existen diferencias en la organización de los ritmos circadianos según el género.

Además de esto, se presentaron diferencias individuales en la acrofase de la temperatura rectal, ya que 2 participantes (1 hombre y 1 mujer) tuvieron una fase retrasada con respecto al grupo. A pesar de esto, los cambios en los indicadores de los componentes de las funciones ejecutivas fueron observados con claridad, así como, se realizó el análisis de correlación cruzada de forma individual, con lo que sus fases de los componentes

de las funciones ejecutivas fueron comparadas con sus propias fases de temperatura rectal.

Es importante mencionar que el uso de una rutina constante fue crucial para poder observar si las variaciones durante el día observadas en este estudio son de carácter endógeno, con el fin de quitar el enmascaramiento de factores como cambios de iluminación y temperatura ambiental. Sin embargo, el uso de este protocolo, así como el de desincronización forzada, implica observar el funcionamiento humano en una situación artificial, por lo que será relevante en un futuro observar los componentes de las funciones ejecutivas en el medio natural en el que se desenvuelven las personas, para poder analizar su capacidad de tomar decisiones y resolver problemas en su vida habitual. Además de esto, el uso de este protocolo conlleva a que las personas se priven de sueño durante más de un día, así como que se mantengan trabajando durante todo este tiempo, por lo que se presenta fatiga. Esta fatiga se va incrementando como avanza la sesión de registro. En este estudio se corrigieron los datos matemáticamente al quitar la tendencia lineal durante la sesión, sin embargo, será importante hacer observaciones futuras en

otras condiciones, por ejemplo, el iniciar el registro a diferentes horas del día, después de despertar, para analizar como esta fatiga afecta la ejecución de las personas.

Por otro lado, las implicaciones de este estudio son de gran relevancia, ya que la capacidad del ser humano para solucionar problemas es crucial para ejecutar eficientemente todas nuestras actividades. En todas las áreas productivas, tanto en tareas laborales, educativas y sociales, se requiere que las personas sean capaces de solucionar problemas. Esta capacidad está presente en todas nuestras acciones, pero es fundamental cuando se tienen que tomar decisiones (Simons, Owen, Fletcher & Burgess, 2005). Los resultados de este estudio presentan una disminución en la capacidad para inhibir, ser flexible y ajustarse a los cambios del ambiente durante la madrugada y temprano en la mañana, por lo que estos cambios pueden repercutir en la toma de decisiones y en la resolución de problemas durante estas horas del día. Una baja capacidad para resolver problemas puede tener consecuencias en muchas actividades humanas, por ejemplo: bajo rendimiento laboral, errores en el trabajo,

accidentes laborales graves o accidentes automovilísticos.

La disminución en la capacidad de inhibir el comportamiento, de ser flexibles para intercambiar estrategias de respuestas y de ajustarse a los cambios observada durante la madrugada en este estudio, coincide con una mayor incidencia de errores y una menor eficiencia en los trabajadores a estas horas del día. Los errores y la baja eficiencia del trabajador en la madrugada pueden vincularse a la mayor incidencia de accidentes en el turno de trabajo nocturno, así mismo, se ha observado que los accidentes tienden a ser más graves en comparación con los que suceden en los turnos diurnos (Folkard & Tucker, 2003).

Además de esto, los resultados de esta tesis tienen implicaciones en el campo clínico de la neuropsicología, ya que para poder hacer un buen diagnóstico de las funciones ejecutivas se debe tomar en cuenta la hora del día en que se evalúa a las personas. También será relevante considerar si estas variaciones a lo largo del día afectan el proceso de rehabilitación de las funciones ejecutivas, ya que hasta la fecha se desconoce su impacto.

Capítulo 6. Conclusiones

Las conclusiones fundamentales de esta tesis son:

1. Se observaron variaciones circadianas en los siguientes componentes de las funciones ejecutivas: inhibición, flexibilidad y ajuste a los cambios (auto-monitoreo).
2. No se logró identificar si existen variaciones circadianas en el componente de previsión, debido a problemas metodológicos.
3. Los componentes de las funciones ejecutivas presentan variaciones circadianas con una relación de fase con la temperatura corporal. La fase de la inhibición se presenta al mismo tiempo que la de la temperatura corporal, la fase de la flexibilidad ocurre con un retraso de fase de 1-2 horas, y el ajuste a los cambios (auto-monitoreo) ocurre con un retraso de fase de 3-4 horas.
4. El reloj biológico produce ritmos circadianos en el metabolismo que modulan procesos cognoscitivos básicos como la inhibición, que se ha relacionado con el área

dorso-lateral del prefrontal, y en segundo lugar se presentan cambios en otras funciones ejecutivas como la flexibilidad y el auto-monitoreo, que se han relacionado con el área prefrontal medial.

Bibliografía

- Aeschbach, D., Matthews, J. R., Postolache, T. T., Jackson, M. A., Giesen, H. A. & Wehr, T. A. (1999). Two circadian rhythms in the human electroencephalogram during wakefulness. *American Journal of Physiology*, 277, R1771-1779.
- Akerstedt, T. (1984). Work schedules and sleep. *Experientia*, 40, 417-422.
- Alexander, M. & Stuss, D. T. (2006). Frontal injury: Impairments of fundamental processes lead to functional consequences. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 12, 192-193.
- Andrade, M, M., Benedito-Silva, A. A., Domenice, S., Arnhold, I. J. & Menna-Barreto, L. (1993). Sleep characteristics of adolescents: a longitudinal study. *Journal of Adolescent Health*, 14, 401-406.
- Arendt, J. & Marks, V. (1982). Physiological changes underlying jet lag. *British Medical Journal (Clinical Research Ed.)*, 284, 144-146.
- Aschoff, J. (1976). Circadian systems in man and their implications. *Hospital Practice*, 11, 51-97.

- Baddeley, A. D., Hatter, J. E., Scott, D. & Snashall, A. (1970). Memory and time of day. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 22, 605-609.
- Baddeley, A. D. & Logie, R. H. (1999). Working Memory: The Multiple-Component Model. En A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of working memory: mechanisms of active maintenance and executive control* (pp. 28-61). New York: Cambridge University Press.
- Baehr, E. K., Revelle, W. & Eastman, C. I. (2000). Individual differences in the phase and amplitude of the human circadian temperature rhythm: with an emphasis on morningness-eveningness. *Journal of Sleep Research*, 9, 117-127.
- Barber, A. D. & Carter, C. S. (2005). Cognitive Control Involved in Overcoming Prepotent Response Tendencies and Switching Between Tasks. *Cerebral Cortex*, 15, 899-912.
- Basso, D., Lotze, M., Vitale, L., Ferreri, F., Bisiacchi, P. Belardinelli, M.O., Rossini, P.M. & Birbaumer, N. (2006). The role of prefrontal cortex in visuo-spatial planning: a repetitive TMS study. *Experimental Brain Research*, 171, 411-415

- Berger, A. & Posner, M. I. (2000). Pathologies of brain attentional networks. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 24, 3-5.
- Blake, M. J. F. (1967). Time of day effects on performance in a range of task. *Psychonomic Science*, 349-350.
- Blatter, W., Opwis, K., Münch, M., Wirz-Justice, A. & Cajochen, C. (2005). Sleep loss-related decrements in planning performance in healthy elderly depend on task difficulty. *Journal of Sleep Research*, 14, 409-417.
- Bratzke, D., Rolke, B., Steinborn, M. B. & Ulrich, R. (2009). The effect of 40 h constant wakefulness on task-switching efficiency. *Journal of Sleep Research*, 18, 167-172.
- Buck, L. (1977). Circadian rhythms in step-input pursuit track. *Ergonomics*, 20, 19-31.
- Burton, L. A. & Harden, C. (1997). Effect of topiramate on attention. *Epilepsy Research*, 27, 29-32.
- Burton, M. W., Locasto, P. C., Krebs-Noble, D. & Gullapalli, R. P. (2005). A systematic investigation of the functional neuroanatomy of auditory and visual phonological processing. *Neuroimage*, 26, 647-661.

- Cajochen, C., Blatter, K. & Wallach, D. (2004). Circadian and sleep-wake dependent impact on neurobehavioral function. *Psychologica Belgica*, 44, 59-80.
- Cajochen, C., Calza, S. B., Wyatt, J. K., Czeisler, C. A. & Dijk, D. J. (1999). EEG and ocular correlates of circadian melatonin phase and human performance decrements during sleep loss. *American Journal of Physiology*, 277, R640-649.
- Cajochen, C. & Dijk, D. J. (2003). Electroencephalographic activity during wakefulness, rapid eye movement and non-rapid eye movement sleep in humans: Comparison of their circadian and homeostatic modulation. *Sleep and Biological Rhythms*, 1, 85-95.
- Carrier, J. & Monk, T. H. (2000). Circadian rhythms of performance: new trends. *Chronobiology International*, 17, 719-732.
- Carskadon, M. A., Labyak, S. E., Acebo, C. & Seifer, R. (1999). Intrinsic circadian period of adolescent humans measured in conditions of forced desynchrony. *Neuroscience Letters*, 260, 129-132.

- Cluydts, R., De Valck, E., Verstraeten, E. & Theys, P. (2002). Daytime sleepiness and its evaluation. *Sleep Medicine Reviews*, 6, 83-96.
- Cohen, R. A. & O'Donnell, B. F. (1993). Models and mechanisms of attention. En R. A. Cohen, Y. A. Sparling-Cohen & l. F. O'Donne (Eds.), *The neuropsychology of attention* (pp. 177-188). New York: Plenum Press.
- Colquhoun, W. P. (1971). Circadian variations in mental efficiency. En W.P. Colquhoun (Ed.), *Biological Rhythms and Human Performance* (pp. 39-107). London: Academic Press.
- Czeisler, C. A., Duffy, J. F., Shanahan, T. L., Brown, E. N., Mitchell, J. F., Rimmer, D. W., et al. (1999). Stability, precision, and near-24-hour period of the human circadian pacemaker. *Science*, 284, 2177-2181.
- DeMairan, J. (1729). Observation botanique. *Histoire de L'Academie Royal des Sciences*, pp. 35-36.
- Demakis, G. J. (2004). Frontal lobe damage and tests of executive processing: A meta-analysis of the Category Test, Stroop Test, and Trail-Making Test. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 26(3), 441-450.

- D'Reaux, R. A., Neumann, C. S. & Rhymer, K. N. (2000). Time of day of testing and neuropsychological performance of schizophrenic patients and healthy controls. *Schizophrenia Research*, 45, 157-167.
- Dijk, D. J., Duffy, J. F. & Czeisler, C. A. (1992). Circadian and sleep/wake dependent aspects of subjective alertness and cognitive performance. *Journal of Sleep Research*, 1, 112-117.
- Duffy, J. F. & Dijk, D. J. (2002). Getting through to circadian oscillators: why use constant routines? *Journal of Biological Rhythms*, 17, 4-13.
- Dunbar, K. & Sussman, D. (1995). Toward a cognitive account of frontal lobe function: Simulating frontal lobe deficits in normal subjects. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 769, 289-304.
- Fassbender, C., Murphy, K., Foxe, J. J., Wylie, G. R., Javitt, D. C., Robertson, I.H. & Garavan, H. (2004). A topography of executive functions and their interactions revealed by functional magnetic resonance imaging. *Cognitive Brain Research*, 20, 132-143.

- Folkard, S. & Monk, T. H. (1980). Circadian rhythms in human memory. *British Journal of Psychology*, 71, 295-307.
- Folkard, S. & Tucker, P. (2003). Shift work, safety and productivity. *Occupational Medicine*, 53, 95-101.
- Foster, L. & Kreitzman, L. (2004). *Rhythms of life: The biological clocks that control the daily lives of every living thing*. London: Profile Books.
- Garavan, H., Ross, T. J., Murphy, K., Roche, R. A. P. & Stein E. A. (2002). Dissociable executive functions in the dynamic control of behavior: Inhibition, error Detection, and correction. *NeuroImage*, 17, 1820-1829.
- García, A., Cortez, J., Juárez, D., Ramírez, C. & Valdez, P. (2009). Dormir: ¿una necesidad o un ritmo circadiano? En: Valdez, P. *Cronobiología: Respuestas psicofisiológicas al tiempo* (pags. 97-137). México: Universidad Autónoma de Nuevo León
- Godefroy, O. (2003). Frontal syndrome and disorders of executive functions. *Journal of Neurology*, 25, 1-6.
- Goh, V. H. H., Tong, T. Y. Y. & Lee, L. K. H. (2001). The rotary pursuit test is not an index of normal psychomotor function in humans. *Military Medicine*, 166 (8), 725-727.

- Graw, P., Kräuchi, K., Knoblauch, V., Wirz-Justice, A. & Cajochen, C. (2004). Circadian and wake-dependent modulation of fastest and slowest reaction times during the psychomotor vigilance task. *Physiology and Behavior*, 80, 695-701.
- Gruber, O. & Goschke, T. (2004). Executive control emerging from dynamic interactions between brain systems mediating language, working memory and attentional processes. *Acta Psychologica*, 115, 105-121.
- Hanneman, S. K. (2001). Measuring circadian temperature rhythm. *Biological Research for Nursing*, 2, 236-248.
- Harrison, Y., Jones, K. & Waterhouse, J. (2007). The influence of time awake and circadian rhythm upon performance on a frontal lobe task. *Neuropsychologia*, 45, 1966-1972.
- Hartley, L. R. & Shirley, E. (1976). Color-Name Interference at Different Times of Day. *Journal of Applied Psychology*, 61, 119-122.
- Horne, J. A. & Ostberg, O. (1976). A self-assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms. *Int J Chronobiol*, 4, 97-110.

- Johnson, M. P., Duffy, J. F., Dijk, D. J., Ronda, J. M., Dyal, C. M. & Czeisler, C. A. (1992). Short-term memory, alertness and performance: a reappraisal of their relationship to body temperature. *Journal of Sleep Research*, 1, 24-29.
- Kerhof, G. A. & Van Dongen, H. P. A. (1996). Morning-type and evening-type individuals differ in the phase position of their endogenous circadian oscillator. *Neuroscience Letters*, 218, 153-156.
- Kirsch, P., Lis, S., Esslinger, C., Gruppe, H., Danos, P., Broll, J., Wiltink, J. & Gallhofer, B. (2006). Brain activation during mental maze solving. *Neuropsychobiology*, 54, 51-58.
- Kleitman, N. & Jackson, D. P. (1950). Body temperature and performance under different routines. *Journal of Applied Physiology*, 3, 309-328.
- Kleitman, N. (1963). *Sleep and wakefulness*. Chicago: University of Chicago Press.
- Kraemer, S., Danker-Hopfe, H., Dorn, H., Schmidt, A., Ehlert, I. & Herrmann, W. M. (2000). Time-of-day variations of indicators of attention: performance, physiologic parameters, and self-assessment of sleepiness. *Biological Psychiatry*, 48, 1069-1080.

- Krigolson, O. E. & Holroyd, C. B. (2006). Evidence For Hierarchical Error Processing In The Human Brain. *Neuroscience*, 137, 13-17.
- Kudielka, B. M., Federenko, I. S., Hellhammer, D. H. & Wüst, S. (2006). Morningness and eveningness: The free cortisol rise after awakening in ``early birds'' and ``night owls''. *Biological Psychology*, 72, 141-146.
- Lack, L. C. & Thorn, S. J. (1992). Sleep disorders: their prevalence and behavioral treatment. En G. R. Caddy & D. G. Byrne (Eds.), *Behavioral Medicine. International perspectives* (pp. 347-395). New Jersey: Ablex Publishing Corporation.
- Luce, G. G. (1971). *Biological rhythms in human and animal physiology*. New York: Dover Publications.
- Luria A. R. (1986). *Las funciones corticales superiores del hombre*. México: Fontamara 23.
- Luria A. R. (1989). *El cerebro en acción*. México: Roca.
- Mackenberg, E. J., Broverman, D. M., Vogel, W. & Claiber, E. L. (1974). Morning-to-afternoon changes in cognitive performances and in the electroencephalogram. *Journal of Educational Psychology*, 66, 238-246.

- Manly, T., Lewis, G. H., Robertson, I. H., Watson, P. C. & Datta, A. K. (2002). Coffee in the cornflakes: time-of-day as a modulator of executive response control. *Neuropsychologia*, 40, 1-6.
- May, C. P. (1999). Synchrony effects on cognition: the costs and a benefit. *Psychonomic Bulletin & Review*, 6, 142-147.
- May, C. P. & Hasher, L. (1998). Synchrony effects in inhibitory control over thought and action. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24, 363-379.
- McLeod, C. M. (1991). Half a century of research on the Stroop effect: an integrative review. *Psychological Bulletin*, 109, 163-203.
- McLeod, C. M. & MacDonald, P. A. (2000). Interdimensional interference in the Stroop effect: uncovering the cognitive and neural anatomy of attention. *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 383-391.
- Miller, E. K. & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, 24, 167-202.
- Minors, D. S. & Waterhouse, J. M. (1986). Circadian rhythms and their mechanisms. *Experientia*, 42, 1-13.

- Minors, D. S. & Waterhouse, J. M. (1988). Mathematical and statistical analysis of circadian rhythms. *Psychoneuroendocrinology*, 13, 443-464.
- Monk, T. H., Buysse, D. J., Reynolds, C. F. & Kupfer, D. J. (1998). Endogenous circadian performance rhythms-relationship to temperature, cortisol, melatonin, mood and alertness. En Y. Touitou (Ed.), *Biological clocks, mechanisms and applications* (pp. 557-562). New York: Elsevier Science B. V.
- Monk, T. H. & Carrier, J. (1997). Speed of mental processing in the middle of the night. *Sleep*, 20(6), 399-401.
- Monk, T. H. & Welsh, D. K. (2003). The role of chronobiology in sleep disorders medicine. *Sleep Medicine Reviews*, 7, 455-473.
- Moore-Ede, M. C., Sulzman, F. M. & Fuller, C. A. (1982). *The clocks that time us*. Cambridge: Harvard University Press.
- Mullaney, D. J., Kripke, D. F., Fleck, P. A. & Johnson, L. C. (1983). Sleep loss and nap effects on sustained continuous performance. *Psychophysiology* 20 (6), 643-651.

- Palmer, J. D. (1976). *An introduction to biological rhythms*. New York: Academic Press.
- Palmer, J. D. (2002). *Living clock: The orchestrator of biological rhythms*. New York: Oxford University Press.
- Pittendrigh, C. S. (1981). Circadian systems: Entrainment. En J. Aschoff (Ed.), *Handbook Behavioral Neurobiology Vol. 4 Biological Rhythms*. (pp 94-124). New York: Plenum.
- Ramírez, C., García, A., Talamantes, J. & Valdez, P. (2009). Ritmos circadianos en los procesos cognoscitivos. En P. Valdez (Dir.), *Cronobiología. Respuestas psicofisiológicas al tiempo*. (pp. 159-212). Monterrey: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Ramírez, C., García & Valdez, P. (2009). Ritmos circadianos. En P. Valdez (Dir.), *Cronobiología. Respuestas psicofisiológicas al tiempo*. (pp. 47-80). Monterrey: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Ramírez, C., Talamantes, J., García, A., Morales, M., Valdez, P. & Menna-Barreto, L. (2006). Circadian rhythms in phonological and visuospatial storage components of working memory. *Biological Rhythm Research*, 37, 433-441.

- Schmidt, C., Collette, F., Cajochen, C. & Peigneux, P. (2007). A time to think: Circadian rhythms in human cognition. *Cognitive Neuropsychology*, 24, 755-789.
- Simons, J. S., Owen, A. M., Fletcher, P. C. & Burgess, P. W. (2005). Anterior prefrontal cortex and the recollection of contextual information. *Neuropsychologia*, 43, 1774-1783.
- Stephan, F. K. (2002). The "other" circadian system: food as a zeitgeber. *Journal of Biological Rhythms*, 17, 284-292.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 28, 643-662.
- Stuss, D. T. & Alexander, M. P. (2000). Executive functions and the frontal lobes: a conceptual view. *Psychological Research*, 63, 289-298.
- Stuss, D. T., Floden D., Alexander, M. P., Levine, B. & Katz D. (2001). Stroop performance in focal lesion patients: dissociation of processes and frontal lobe lesion location. *Neuropsychologia*, 39, 771-786.
- Valdez, P. (1988). Ritmos circadianos y conducta. En E. C. Valcárcel (Ed.), *La Neuropsicología, una nueva*

rama en el conocimiento psicológico (pp. 167-206). La Habana: ENPES.

Valdez, P. (2009). *Cronobiología. Respuestas psicofisiológicas al tiempo*. Monterrey: Universidad Autónoma de Nuevo León.

Valdez, P. (2009). Neuropsicología. En: C.H. García, M.G. Muñiz & J. Montalvo (Eds.), *Conceptos de Psicología 2. Volumen 2* (pp. 97-130). México: Trillas.

Valdez, P., Nava, G., Tirado, H., Frías, M. & Corral, V. (2005). Importancia de las funciones ejecutivas en el comportamiento humano: implicaciones en la investigación con niños. En: V. Corral & M. Frías (eds.), *Niñez, adolescencia y problemas sociales* (pp. 65-81). México: CONACYT-Unison.

Valdez, P., Ramírez, C. & García, A. (1996). Delaying and extending sleep during weekends: sleep recovery or circadian effect? *Chronobiology International*, 13(3), 191-198.

Valdez, P., Ramírez, C. & García, A. (2002). Análisis del proceso de adaptación de la población al horario de verano. *Ciencia y Desarrollo*, 28 (163), 61-67.

- Valdez, P., Ramírez, C. & García, A. (2003). Adjustment of the sleep-wake cycle to small (1-2 h) changes in schedule. *Biological Rhythm Research*, 34, 145-155.
- Valdez, P., Ramírez, C. & García, A. (2009). Cronobiología del comportamiento humano. En: García, C.H., Muñiz, M.G. & Montalvo, J. (Eds.). *Conceptos de psicología. Volumen 2* (pp. 249-271). México: Editorial Trillas.
- Valdez, P., Ramírez, C., García, A. & Talamantes, J. (2008). Los cambios de la atención a lo largo del día. *Ciencia*, 59, 14-23.
- Valdez, P., Ramírez, C., García, A., Talamantes, J., Armijo, P. & Borrani, J. (2005). Circadian rhythms in components of attention. *Biological Rhythm Research*, 36, 57-65.
- Valdez, P., Ramírez, C., García, A., Talamantes, J. & Cortez, J. (2010). Circadian and homeostatic variation in sustained attention. *Chronobiology International*, 27, 393-416.
- Valdez, P., Ramírez, C. & Téllez, A. (1998). Alteraciones del ciclo dormir-vigilia. En A. Téllez (Ed.), *Trastornos del sueño: diagnóstico y tratamiento* (pp. 193-230). México: Trillas.

- Valdez, P., Reilly, T. & Waterhouse, J. (2008). Rhythms of mental performance. *Mind, Brain and Education*, 2 (1), 7-16.
- Valdez-Ramírez, P., Ramírez-Tule, C., García-García, A., Talamantes-López, J. (2009). Ritmos circadianos en la eficiencia para responder en una tarea de ejecución continua. *Revista Mexicana de Análisis de la Conducta*, 35, 77-93.
- Van Boxtel, G. J. M., Van der Molen, M. W., Jennings, J. R. & Brunia, C. H. M. (2001). A psychophysiological analysis of inhibitory motor control in the stop-signal paradigm. *Biological Psychology*, 58, 229-262.
- van Eekelen, A. P. J. & Kerkhof, G. A. (2003). No interference of task complexity with circadian rhythmicity in a constant routine protocol. *Ergonomics*, 46 (15), 1578-1593.
- Webb, W. B. & Bonnet, M. H. (1978). The sleep of 'morning' and 'evening' types. *Biological Psychology*, 7, 29-35
- Weitzman, E. D., Czeisler, C. A. & Moore-Ede, M. C. (1979). Sleep-wake, neuroendocrine and body temperature circadian rhythms under entrained and non-entrained (free-running) conditions in man. En M.Suda, O. Hayaishi & H. Nakagawa (Eds.), *Biological*

rhythms and their central mechanisms (pp. 199-227).

North Holland: Elsevier Biomedical Press.

Weschler, D. (1981). *Escala de inteligencia revisada para el nivel escolar (WISC-R)*. México: Ed. Manual Moderno.

West, R. & Bell, M. A. (1997). Stroop Color-Word Interference and Electroencephalogram Activation: Evidence for Age-Related Decline of the Anterior Attention System. *Neuropsychology*, 11, 421-427.

Wirz-justice, A. (1987). Circadian rhythms in mammalian neurotransmitter receptors. *Progress in Neurobiology*, 29, 219-259.

Wright, K. P., Hull, J. T. & Czeisler, C. A. (2002). Relationship between alertness, performance, and body temperature in humans. *American Journal of Physiology*, 283, R1370-1377.

Zalla, T., Plassiart, C., Pillon, B., Grafman, J. & Sirigu, A. (2001). Action planning in a virtual context after prefrontal cortex damage. *Neuropsychologia*, 39, 759-770.

Apéndices

Apéndice A. Cuestionario de datos generales

Fecha _____

Nombre _____

Semestre _____ Grupo _____ Turno _____

Edad _____ Estado civil _____

Dirección _____ Teléfono _____

e- mail _____ Celular _____

Horario de clases:

	Entrada	Salida		Entrada	Salida
Lunes			Martes		
Miércoles	_____	_____	Jueves	_____	_____
Viernes	_____	_____	Sábado	_____	_____

¿Cuánto tiempo tarda en trasladarse de su casa a la escuela?

Especifique en minutos _____

¿Trabaja actualmente? Sí ☐ No ☐

Si usted es mujer, conteste lo siguiente:

¿Su menstruación es regular o irregular? _____

¿Cuántos días pasan entre el inicio de una menstruación
y el inicio de la siguiente? _____

¿Cuándo fue su última menstruación? _____

¿Cuándo fue su penúltima menstruación? _____

Si es foráneo, conteste lo siguiente:

Ciudad y estado _____

¿Con qué frecuencia regresa a su ciudad de origen? _____

Si realiza algún tipo de ejercicio o deporte, especifique:

Tipo: _____ Que días de la semana: _____

Horario de: _____ a: _____

Si actualmente realiza alguna actividad programada (clases, etc.), especifique cual(es), que días de la semana y a que horas.

Actividad: _____ Días: _____ Horas: _____

Actividad: _____ Días: _____ Horas: _____

Actividad: _____ Días: _____ Horas: _____

¿Con qué frecuencia ingiere bebidas alcohólicas? (veces por semana, veces por mes, etc.)

¿Con qué frecuencia fumas? (cigarros por día, cigarros por semana, etc.)

¿Con qué frecuencia tomas café? (tazas por día, tazas por semana, etc.)

Apéndice B. **Cuestionario de antecedentes de riesgo de
daño cerebral**

Fecha _____

Teléfono _____

Nombre: _____ Fecha de nacimiento _____

Edad: _____ Sexo: ☐ Masculino ☐ Femenino ☐ Diestro ☐ Zurdo

Escolaridad (años cursados): Kinder: _____ Primaria _____ Secundaria _____ Prepa _____ Profesional _____ Grado
Escolar Actual _____

Antecedentes perinatales (datos de tu nacimiento)

¿Cuánto duró el embarazo? _____

¿El Dr. le ordeno reposo durante el embarazo? No ☐ Sí ☐

¿Cómo fue el parto:? Natural ☐ Cesárea ☐

¿Quién lo indicó? _____ ¿Cuál fue la causa? _____

¿Usaron fórceps? No ☐ Sí ☐

¿Se enredó en el cordón umbilical? No ☐ Sí ☐

¿Le faltó oxígeno al niño al nacer? No ☐ Sí ☐

¿Tardó en respirar su hijo? No ☐ Sí ☐ ¿Por cuánto tiempo? _____

¿Como nacio? Peso _____ Kg. Talla _____ cm. Color _____

¿Permaneció en incubadora? No ☐ Sí ☐ ¿Cuánto tiempo? _____

¿La madre fumó durante el embarazo? No ☐ Sí ☐

¿Por cuánto tiempo? _____ · Cantidad por semana _____

¿La madre tomó bebidas alcohólicas durante el embarazo? No ☐ Sí ☐

¿Por cuánto tiempo? _____ · Cantidad por semana _____

¿La madre consumió medicamentos durante el embarazo? No ☐ Sí ☐

¿Cuál(es)? _____ ¿Por cuánto tiempo? _____

¿Se ha presentado alguna de estas enfermedades en tu familia? No ☐ Sí ☐

☐ Alzheimer ☐ Esquizofrenia ☐ Parkinson ☐ Depresión ☐ Trastorno Bipolar

¿En quién?(parentesco) _____

¿Has recibido algún tratamiento médico por un período largo de tiempo? No ☐ Sí ☐

¿Por cuánto tiempo? _____ Semanas _____ Meses _____ Años _____

Si tomo algún medicamento en la última semana indique el nombre: _____

Dosis _____ Hora que lo tomó _____

Señale las enfermedades que tiene o ha tenido:

☐ Ninguna

- ☐ Hipertensión ☐ Diabetes ☐ Obesidad ☐ Cáncer ☐ Infarto Cardíaco
☐ Meningitis ☐ Encefalitis ☐ Dolor de cabeza ☐ Epilepsia (convulsiones) ☐ Infarto cerebral
☐ Embolia ☐ Derrame cerebral ☐ Tumor cerebral ☐ Coma
☐ Insomnio ☐ Otras

Comentarios: _____

¿Se ha golpeado fuerte la cabeza? No ☐ Sí ☐ ¿Perdió la conciencia momentáneamente? No ☐ Sí ☐

¿Cuánto tardó en recuperar la conciencia? Minutos _____ Horas _____ Días _____ Meses _____

Comentarios: _____

¿Le han realizado alguna operación en el cerebro? No ☐ Sí ☐

¿Se ha desmayado en el último mes? No ☐ Sí ☐

¿Se ha orinado o ha evacuado por accidente en el último mes? No ☐ Sí ☐

¿Se extravía frecuentemente? No ☐ Sí ☐

¿A veces ve cosas u oye cosas que otras personas no perciben? No ☐ Sí ☐

¿Por momentos no responde a lo que le están diciendo? No ☐ Sí ☐

Comentarios: _____

Señale si tuvo dificultades para aprender a alguno de los siguientes procesos: ☐ Ninguna

☐ Caminar ☐ Hablar ☐ Escribir ☐ Leer ☐ Hacer cálculos ☐ Diferenciar derecha-izquierda

☐ Otra: _____

¿A qué edad? _____ ¿Cuánto tardó en aprender? _____

Comentarios: _____

Ha sido diagnosticado con Déficit de Atención? No ☐ Sí ☐

¿A qué edad? _____ ¿Quién lo diagnosticó? _____

Comentarios: _____

¿Repitió algún año escolar? No ☐ Sí ☐

¿Cuál? _____

Señale si ha recibido algún tipo de apoyo escolar o terapia

No ☐ Sí ☐

☐Psicológica

☐Apoyo escolar

☐De lenguaje

☐Educación especial

☐Psicomotora

☐ Rehabilitación Física

☐Estimulación Temprana

☐Otra: _____

¿En dónde? (Escuela, centro terapéutico, etc.) _____

¿Por qué motivo? _____

¿A qué edad? _____ ¿Por cuánto tiempo? _____

¿Quién se lo indicó? _____

¿Ha suspendido su educación por un período de tiempo?

No ☐ Sí ☐

¿En qué grado escolar? _____

¿Por cuánto tiempo? _____

¿Por qué?: _____

¿Alguna vez ha sido suspendido de su escuela por razones de disciplina?

No ☐ Sí ☐

¿A qué edad? _____ ¿Por cuánto tiempo? _____

Comentarios: _____

¿Toma refresco? No ☐ Sí ☐ Tipo _____ Cuántos por semana _____

¿Toma café? No ☐ Sí ☐ Cuántas tazas al día _____

Apéndice C. Autoevaluación de la Fase Circadiana
(Horne y Ostberg, 1976)

Traducción: Téllez y Valdez.

Instrucciones:

1. Lea cada pregunta con cuidado antes de contestar.
2. Responda todas las preguntas.
3. Responda las preguntas en el orden en que aparecen.
4. Cada pregunta debe contestarse independientemente de las otras. NO revise sus respuestas anteriores.
5. Para cada pregunta marque con una cruz sólo una respuesta. En las preguntas con una escala marque con una cruz en el espacio adecuado de la escala.
6. Conteste lo más sinceramente posible. Los resultados son estrictamente confidenciales.
7. Anote sus comentarios debajo de cada pregunta.

CUESTIONARIO

1. Si pudiera planear libremente su día, ¿a qué hora se levantaría?



2. Si pudiera planear libremente su tarde, ¿a qué hora se acostaría?



3. Si tiene que levantarse en la mañana a una hora específica, ¿qué tanto depende de un reloj alarma para despertar?

No dependo
Dependo un poco
Dependo mucho
Dependo totalmente

4. En un día con clima agradable, ¿qué tan fácil se levanta en la mañana?

Muy difícil
Difícil
Fácil
Muy fácil

5. ¿Qué tan atento y despejado se siente durante la primera media hora después de despertar en la mañana?

Nada despejado
Un poco despejado
Despejado
Muy despejado

6. ¿Qué tanta hambre tiene durante la primera media hora después de despertar en la mañana?

Muy poca
Poca
Regular
Mucha

7. ¿Qué tan cansado se siente durante la primera media hora después de despertar en la mañana?

Muy cansado
Cansado
Descansado
Muy descansado

8. Cuando no tiene nada que hacer el día siguiente, ¿a qué hora se acuesta en comparación con lo que acostumbra?

Casi nunca (o nunca) más tarde
Menos de una hora más tarde
1 - 2 horas más tarde
Más de 2 horas más tarde

9. Suponga que ha decidido hacer ejercicio dos días por semana y un amigo lo invita de 7 a 8 AM, ¿Cómo cree que se sentiría?

En muy buena forma

En buena forma

Sería difícil

Sería muy difícil

10. ¿A qué hora se siente cansado y con sueño?



11. Si deseara estar en mejor momento para una prueba escrita difícil (que consiste en resolver problemas y que durará más de dos horas), si pudiera planear libremente su día, ¿qué intervalo escogería?

8 - 10 AM

11 AM - 1 PM

3 - 5 PM

7 - 9 PM

12. Si se acostase a dormir a las 11 PM, ¿qué tan cansado estaría en ese momento?

Nada cansado

Un poco cansado

Cansado

Muy cansado

13. Si por alguna razón se acostó a dormir más tarde de lo acostumbrado y no tiene necesidad de levantarse a una hora determinada al día siguiente, ¿qué es más probable que le suceda?

Despertaría a la hora acostumbrada y ya no dormiría

Despertaría a la hora acostumbrada y me sentiría somnoliento

Despertaría a la hora acostumbrada y me volvería a dormir enseguida

Despertaría más tarde de lo acostumbrado

14. Si tuviera que trabajar de 4 a 6 AM y no tuviese actividades al día siguiente, ¿qué es lo que haría?

Sólo dormiría después de terminar de trabajar

Tomaría una siesta antes del trabajo y dormiría bien después del trabajo

Dormiría bien antes de trabajar y tomaría una siesta después del trabajo

Sólo dormiría antes de trabajar

15. Si tuviese que hacer un trabajo físico intenso, ¿qué intervalo escogería?

8-10 AM

11 AM-1 PM

3-5 PM

7-9 PM

16. Suponga que ha decidido hacer ejercicio dos días por semana y un amigo lo invita de 10 a 11 PM, ¿cómo cree que se sentiría?

En muy buena forma

En buena forma

Sería difícil

Sería muy difícil

17. Suponga que puede escoger sus horas de trabajo. Si trabajase 5 hrs. seguidas, su trabajo fuera muy Interesante y se le pagara de acuerdo a su rendimiento, ¿cuáles 5 hrs. seguidas escogería?

12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Medianoche

Mediodía

Medianoche

18. ¿A qué hora del día cree que está en su mejor momento?

12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Medianoche

Mediodía

Medianoche

19. Uno escucha acerca de gentes "madrugadoras" y "nocturnas", ¿de cuál de esos tipos se considera?

Definitivamente madrugador
Más madrugador que nocturno
Más nocturno que madrugador
Definitivamente nocturno

Apéndice D. Cuestionario de Trastornos del Dormir

Lea cuidadosamente los problemas del dormir que se mencionan abajo y señale cual de ellos presenta actualmente usted. Cuando marque **SI**, indique enseguida lo molesto del problema.

	NO	SI	Me molesta				
			Nada	Poco	Regular	Mucho	Demasiado
¿Tiene dificultades para empezar a dormir?		→					
¿Tiene despertamientos durante la noche con dificultades para volver a dormir?		→					
¿Despierta en la noche y no logra volver a dormir?		→					
¿Se siente cansado al despertar?		→					
¿Siente que duerme demasiado tiempo?		→					
¿Siente muchas ganas de dormir durante el día?		→					
¿Tiene pesadillas?		→					
¿Recuerda sus pesadillas detalladamente?		→					
¿Habla dormido?		→					
¿Tiene sonambulismo (camina dormido)?		→					
¿Siente que no puede moverse (paralizado) al empezar a dormir o al despertar?		→					
¿Rechina los dientes dormido?		→					
¿Se orina en la cama?		→					
¿Ronca?		→					

Apéndice E. Diario del dormir

Escribe la información correspondiente
Recuerda poner A.M. o P.M. donde corresponda

Nombre: _____ **Fecha:** _____

¿A qué hora se acostó anoche? _____ ¿Cuánto tiempo tardó en dormirse? Especifique en minutos _____

¿A qué hora se despertó hoy? _____ ¿A qué hora se levantó hoy? _____

¿Cómo se despertó hoy? Con despertador _____ Espontáneo _____
Otro (especifique) _____

¿Cuántas veces se despertó durante el dormir? _____

Al despertar, ¿se levanto alguna vez de la cama? _____

Si tomó alguna siesta el día de ayer, especifique:

Hora de inicio: _____ Hora de terminación: _____

Califique lo siguiente de acuerdo a la escala de la derecha.

¿Tuvo dificultades para empezar a dormir anoche?
¿Qué tan satisfecho quedo hoy de su dormir?
¿Qué tan alerta y dispuesto a trabajar se sintió hoy al despertar?
¿Qué tan somnoliento se sintió durante el día de ayer?
¿Qué tan cansado se sintió durante el día de ayer?

Nada	Poco	Regular	Mucho	Demasiado

Si tomó alguno de lo siguiente, durante el día de ayer, especifique:

Nombre:	Tipo	Cantidad	¿A qué hora(s)?:
Medicamento	_____		
Refresco de cola	_____		
Bebidas alcohólicas	_____		
Cigarros	_____		
Café	_____		

Apéndice F. Reporte de Ingestión de alimentos

Nombre: _____ Fecha: _____

Instrucciones: Anote todo lo que comió el día de ayer y la hora en que lo comió
(colocar la cantidad en unidades de cantidad, peso o tazas)

Alimentos	Hora	Descripción de la comida
Desayuno		
Entre comidas Mañana		
Comida		
Entre comidas Tarde		
Cena		

**Apéndice G. Escalas visuales analógicas para el registro
de somnolencia y cansancio**

SOMNOLENCIA

Marque con una cruz sobre la siguiente línea su grado de somnolencia actual, considerando que el extremo izquierdo representa nada de somnolencia y el derecho mucha somnolencia.

CANSANCIO

Marque con una cruz sobre la siguiente línea su grado de cansancio actual, considerando que el extremo izquierdo representa nada de cansancio y el derecho mucho cansancio.
